MANUAL DE ENSINO EXPLOSIVOS E DESTRUIÇÕES

O **CHEFE DO DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO E CULTURA DO EXÉRCITO**, no uso das atribuições que lhe conferem o parágrafo único do art. 5º, a letra b) do inciso VI do art. 12, e o caput do art 44, das Instruções Gerais para as Publicações Padronizadas do Exército (EB10-IG-01.002), aprovadas pela Portaria do Comandante do Exército n° 770, de 7 de dezembro de 2011, resolve:

Art. 1° Aprovar, para fins escolares, o Manual de Ensino Explosivos e Destruições, (EB60-ME-14.003), 1ª edição, de 2013, que com esta baixa.

Art. 2° Estabelecer que esta Portaria entre em vigor a contar da data de sua publicação.

FOLHA REGISTRO DE MODIFICAÇÕES

NÚMERO DE ORDEM	ATO DE APROVAÇÃO	PÁGINAS AFETADAS	DATA

ÍNDICE DE ASSUNTOS

Pag

CAPÍTULO I – NOÇÕES TEÓRICAS SOBRE EXPLOSIVOS.....01

CAPÍTULO II – EXPLOSIVOS MAIS UTILIZADOS.....14

CAPÍTULO III – EQUIPAMENTOS DE DESTRUIÇÃO.....23

CAPÍTULO IV – SISTEMA DE LANÇAMENTO DE FOGO E PREPARAÇÃO DE CARGAS.....55

CAPÍTULO V – CÁLCULO E COLOCAÇÃO DE CARGAS.....111

CAPÍTULO VI – DEMOLIÇÃO DE PONTES.....181

CAPÍTULO VII – DESMONTE DE ROCHA.....214

CAPÍTULO VIII – DESTRUIÇÃO DE MUNIÇÕES.....263

CAPÍTULO IX – SEGURANÇA NO MANUSEIO, TRANSPORTE, ARMAZENAMENTO, UTILIZAÇÃO E DESTRUIÇÃO DOS EXPLOSIVOS.....277

ANEXO A – CARACTERÍSTICAS DOS PRINCIPAIS EXPLOSIVOS.....284

ANEXO B – CARACTERÍSTICAS DE EXPLOSIVOS COMERCIAIS.....287

ANEXO C – DISTÂNCIAS DE SEGURANÇA PARA PESSOAL.....288

ANEXO D–DISTÂNCIAS DE SEGURANÇA DE ANTENAS TRANSMISSORAS.. 289

ANEXO E – CARACTERÍSTICAS DAS ESPOLETAS.....290

ANEXO F– CARACTERÍSTICAS DO ESTOPIM E DO CORDEL DETONANTE....291

ANEXO G-TABELA PARA CÁLCULO DE CARGAS PARA CORTAR MADEIRA. 292

ANEXO H – TABELA PARA O CÁLCULO DE CARGAS PARA CORTAR AÇO DE ESTRUTURAS.....293

ANEXO I – TABELA PARA O CÁLCULO DE CARGAS DE PRESSÃO EM PONTES DE LANCES SIMPLES DE LAJE DE CONCRETO.....294

ANEXO J – TABELA PARA O CÁLCULO DE CARGAS DE PRESSÃO EM PONTES DE LANCES SIMPLES DE VIGAS EM “T” DE CONCRETO.....295

ANEXO L – TABELA PARA O CÁLCULO DE CARGAS DE RUPTURA PARA CONCRETO ARMADO.....296

ANEXO M – CÁLCULO DE CARGAS PARA FORNILHOS.....297

ANEXO N – CARACTERÍSTICAS DE CAMPOS DE POUSO.....299

ANEXO O – MÉTODOS DE ABORDAGEM PARA DESTRUIÇÃO DE PONTES..300

ANEXO P – CARACTERÍSTICAS DO ESTOPIM E DO CORDEL DETONANTE.311

ANEXO Q – EXEMPLO DE PLANO DE SEGURANÇA.....312

ANEXO R – EXEMPLO DE GERENCIAMENTO DE RISCO.....313

CAPÍTULO 1
NOÇÕES TEÓRICAS SOBRE EXPLOSIVOS ARTIGO I

1. FINALIDADE

O presente manual escolar foi elaborado para permitir aos cadetes do Curso de Engenharia uma consulta direcionada e indispensável sobre explosivos.

2. EXPLOSIVOS

São substâncias químicas ou misturas de **substâncias químicas** que ao serem **convenientemente iniciadas**, sofrem uma **decomposição** muito **rápida** e **violenta**, produzindo **grande quantidade de calor (alta temperatura)** e formação de **gases (normalmente tóxicos)**, criando, no local, uma zona de **alta pressão**, que atua em **todas as direções** (Fig 1-1).

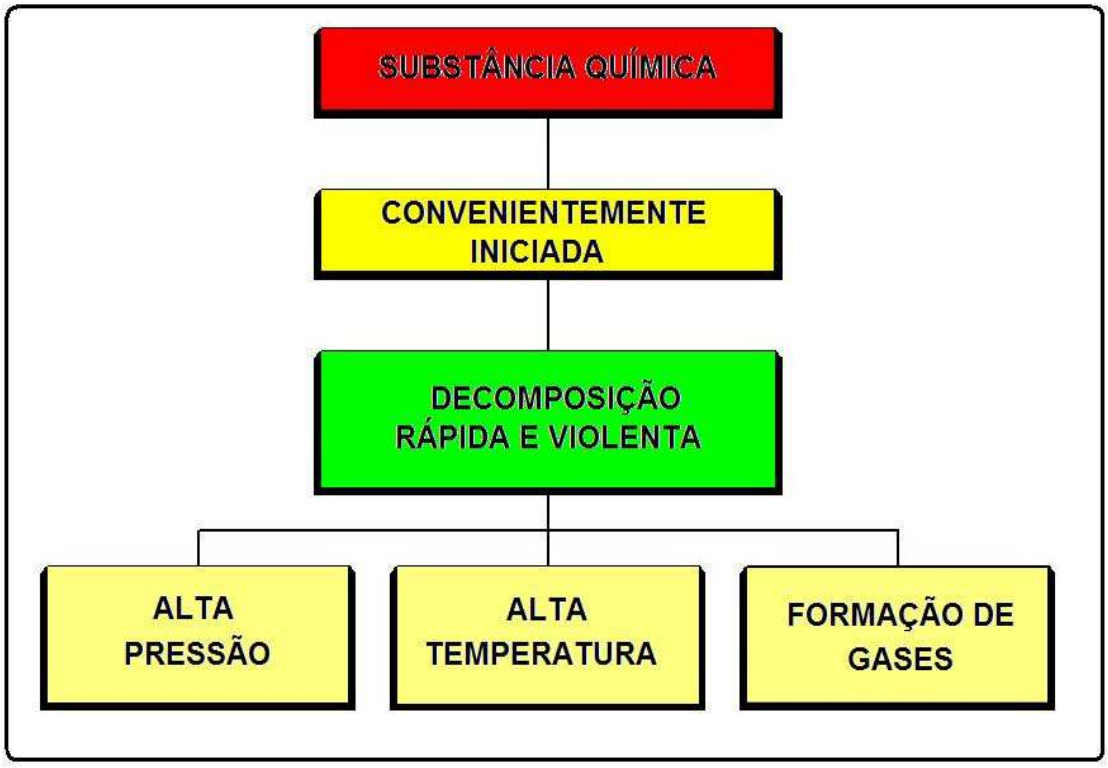


Fig 1-1. Definição de explosivos

A decomposição dos explosivos pode se desenrolar por três processos (Tab 1-1):

PROCESSO	CARACTERÍSTICA	VELOCIDADE DE TRANSFORMAÇÃO	EFEITO		EXEMPLO
COMBUSTÃO	A reação se propaga pela condutividade térmica. Reação química exotérmica. Queima na presença de oxigênio	Moderada Abaixo de 100m/s	O explosivo queima		Óleo combustível
DEFLAGRAÇÃO	Combustão acelerada, com aumento local de temperatura e pressão. Sofre uma condução térmica. Não há necessidade de oxigênio	Rápida Entre 400m/s e 1000m/s	O explosivo deflagra. Tem o efeito de uma pressão progressiva	EXPLOSÃO	Pólvora negra, Pólvora BS e BD
DETONAÇÃO	Criação de uma onda de choque, associada à reação química. Não há necessidade de oxigênio.	Muito rápida Acima de 1000m/s	O explosivo detona. Tem efeito de ruptura, com uma pressão muito grande e de grande impacto (onda de choque)		TNT, PETN e Composto C4

Tab 1-1 Processos de decomposição dos explosivos

IMPORTANTE

Em todos os casos, em princípio, os gases produzidos pela decomposição dos explosivos são tóxicos.

3. DEFINIÇÕES

a. Carga explosiva - carga explosiva, ou simplesmente carga, é uma massa de explosivo destinada a produzir um efeito, predeterminado, quando acionada.

b. Carga de pressão - carga explosiva colocada normalmente sobre o tabuleiro de uma ponte e calculada para abrir uma brecha parcial causando uma enorme sobrecarga no lance, de forma a determinar a sua destruição.

c. Carga de propulsão - baixo explosivo utilizado na propulsão de um projétil, distinguindo-se dos explosivos mais violentos utilizados para produzir o estilhaçamento dos projéteis ou para produzir a ação de sopro.

d. Carga dirigida - explosivo fundido em forma especial, com o objetivo

primordial de concentrar a detonação em um jato penetrante.

e. Carregamento - colocação das cargas explosivas no furo, câmara de carga ou junto de uma peça. Estas cargas estarão escorvadas e em condições de serem acionadas.

f. Destruições militares - são destruições provocadas pelo fogo, água, explosivo, meios mecânicos ou qualquer outro processo que cumpra uma finalidade militar, seja ofensiva ou defensiva.

g. Demolição - consiste na demolição racional de estruturas, com auxílio de explosivos ou meios mecânicos.

h. Efeito "MONROE" - consiste na concentração da carga explosiva em uma direção, utilizando-se de cargas dirigidas, isto é, providas de reentrâncias de forma cônica (ver cargas dirigidas).

i. Enchimento - é utilizado para confinar um explosivo em um espaço fechado circundando-o com terra, sacos de areia ou outro material semelhante, ou pelo emprego de outro material apropriado para fechar a abertura em que se colocou a carga explosiva, como ocorre nas cargas internas.

j. Escorvar uma carga - escorvar uma carga, ou simplesmente escorvar, é o ato de colocar um explosivo de iniciação em uma carga principal, que servirá para dar início à explosão. A escorva é, normalmente, constituída por um cordel detonante, uma espoleta elétrica ou um detonador, ou pelo conjunto de um estopim e uma espoleta comum.

k. Estriar - ato de apertar, com o alicate de estriar, a parte vazia da espoleta comum de encontro ao estopim que está no seu interior, o suficiente para evitar que ela seja arrancada facilmente e venha a prejudicar a queima do rastilho de pólvora do estopim.

l. Paiol - local destinado ao armazenamento de explosivos e munições.

4. PROPRIEDADES DOS EXPLOSIVOS

a. Velocidade de detonação - é a velocidade média de propagação da onda explosiva provocada pela explosão da carga. É medida em metros por segundo (m/s).

b. Brisância - é a aptidão de um explosivo para fragmentar corpos sólidos. Esta característica é ligada à potência da onda de choque provocada pela detonação, fruto da velocidade de detonação e da pressão surgida pela expansão dos gases.

c. Efeito relativo (ER) - o efeito dos explosivos varia de acordo com sua velocidade de detonação, densidade e produção de energia. Estas características determinam seu efeito de corte, ruptura ou carga para crateras. Os explosivos normalmente utilizados para fins militares são ajustados, entre si, pelo fator de efeito relativo (ER), o qual é obtido em função do efeito do explosivo considerado em relação ao TNT (ER=1,00), utilizado como carga de ruptura.

d. Sensibilidade – a sensibilidade de um explosivo tem influência direta na sua segurança de emprego e armazenagem e é estudada em função dos seguintes fatores (Tab 1-2):

TIPO	DEFINIÇÃO
Iniciação	É definida pela quantidade mínima de energia necessária para iniciar o processo explosivo.
Onda explosiva	A onda de choque produzida pela explosão de uma carga próxima pode provocar a detonação por influência, ou "simpatia" de uma carga vizinha
Fricção	Aptidão do explosivo de iniciar-se pelo atrito.
Choque	Aptidão do explosivo de iniciar-se por um choque.
Calor	Aptidão do explosivo de entrar em um processo de combustão, deflagração ou detonação sob efeito de uma elevação de temperatura ou quando em contato com o fogo

Tab 1-2. Fatores de estudo da sensibilidade

e. Força - é a medida da quantidade de energia liberada por um explosivo e de sua capacidade de produzir trabalho útil. É a medida em relação à nitroglicerina, que possui 100% de força. Assim um explosivo com 60% de força possui apenas 60% da capacidade de realizar o trabalho da nitroglicerina pura.

f. Densidade - é a relação entre o peso do explosivo e o seu volume (g/cm³). A densidade de um explosivo é importante para determinar a sua adequabilidade para uma operação de desmonte e depende dos ingredientes que o compõem, os quais são devidamente dosados para obter-se a densidade desejada. Com um explosivo de alta densidade, a energia de detonação é concentrada, o que é desejável no caso de desmonte de material duro. Por outro lado, se não desejamos fragmentação ou a rocha é branda, explosivos de baixa densidade deverão ser usados.

g. Exsudação - quando armazenados por longos períodos ou sob condições climáticas desfavoráveis, os explosivos nitroglicerinados podem vir a exsudar ("suar", desprender material líquido de sua massa). Normalmente, quando há exsudação, os explosivos costumam ficar mais sensíveis e não devem ser utilizados, devendo ser destruídos de imediato, dentro das normas de segurança.

h. Estabilidade - é capacidade que o explosivo tem de não alterar suas características durante o armazenamento em condições normais.

i. Higroscopicidade - é a tendência do explosivo em absorver umidade.

j. Toxidez - é a capacidade que tem o explosivo de concentrar gases nocivos à saúde.

k. Inflamabilidade - propriedade que possuem determinados explosivos em que a substância de sua composição tem facilidade de queimar-se.

l. Volume específico – é o volume gasoso de um explosivo medido a 0° C e a 760 mm Hg, produto da decomposição de um quilo dessa mistura explosiva**.**

m. Volume gasoso - volume medido de um explosivo, medido a 0° C e a 760 mm Hg, dos produtos de sua decomposição. As condições de temperatura e

pressão dessa medida são motivadas pela necessidade de padronização a condições de referência e permitem por outro lado, um cálculo teórico bastante aproximado e rápido, pois nessas condições o volume molecular de qualquer gás é sensivelmente igual a 22,4 litros. O volume gasoso de uma substância pode, portanto ser medido ou calculado. Neste último caso, deve-se estabelecer a reação teórica de decomposição para uma molécula grama dessa substância e multiplicar-se o número total de moléculas gasosas formado por 22,4.

$$V = 22,4 \times Nt$$

Sendo V = volume gasoso, em litros/mol g.

Nt = número de moles gasosos, após a decomposição.

n. Potencial do explosivo - trabalho máximo que o explosivo poderia produzir se toda a sua energia térmica fosse transformada em trabalho.

o. Pressão - pressão máxima desenvolvida pelos gases originados pela decomposição de um explosivo no volume da câmara onde é aplicado. O conceito de pressão de um explosivo difere do de força pelo fato de que, no caso presente, a referência é o volume próprio do mesmo e não o volume de um litro, isto implica em valores diversos para massas de mesmo potencial, porém de densidades diferentes. A pressão do explosivo está intimamente ligada ao seu volume específico, temperatura da explosão e densidade da massa, motivo pelo qual é sensivelmente proporcional ao efeito destrutivo do mesmo.

p. Temperatura de detonação (ou temperatura de explosão) - temperatura máxima à qual são levados os gases produzidos pela decomposição explosiva por força do calor de combustão. É uma temperatura máxima e constante para qualquer quantidade de massa explosiva.

q. Calor de combustão - também chamado calor de detonação ou calor de explosão, é o calor desenvolvido durante a decomposição química de uma substância explosiva. No caso dos combustíveis, esta característica é denominada poder calorífero.

r. Energia RWS e RBS - é a medida da quantidade de energia liberada por um explosivo e de sua capacidade de produzir trabalho útil em relação ao ANFO padrão. O RWS é expresso pela energia termoquímica do explosivo e o RBS em função da densidade. Esses valores são muito utilizados na escolha do explosivo para o desmonte de rocha. É calculado da seguinte forma:

$$\textbf{(1) RWS} = \frac{\text{Energia Termoquímica do Explosivo "X"}}{\text{Energia Termoquímica do ANFO padrão}}$$

(2) RBS = $RWS \times \frac{\text{Densidade do Explosivo "X"}}{\text{Densidade do ANFO padrão}}$

(3) Exemplo:

(a) Densidade ANFO padrão= 0,85 g/cm^3;

(b) Energia Termoquímica ANFO padrão = 900 cal/g;

(c) Densidade Belmex = 1,20 g/cm^3; e

(d) Energia Termoquímica Belmex =1150 cal/g.

(e) Cálculo:

1) RWS = $\frac{1150}{900} = 1,278 = 127,8\ \%$

2) RBS = $1,278 \times \frac{1,20}{0,85} = 1,8 = 180\ \%$

5. CLASSIFICAÇÃO

Os explosivos podem ser classificados sob vários pontos de vista. Interessam as classificações que têm por base:

a. Estado físico:

TIPO	FINALIDADE	EXEMPLOS
Sólidos	Carga de destruição.	TNT, PETN e RDX.
Líquidos	Composição de explosivos.	Nitroglicerina e Astrolite.
Pastosos	Carga de destruição.	Gelatinas, C4 e Plastex.
Gasosos	Sem aplicação prática. Sua importância deve-se apenas pelo perigo que resulta.	Gás Metano e Gás Butano

Tab 1-3. Classificação quanto ao estado físico

b. Emprego:

TIPO	DEFINIÇÃO	EXEMPLOS
Iniciadores ou primários	Fornece energia de ativação suficiente à transformação de outros explosivos. São sensíveis a fricção ou chama.	Fulminato de mercúrio, Azida de chumbo e Estifinato de mercúrio.
Ruptura ou secundários	São destinados à produção de um trabalho de destruição.	TNT, PETN, Dinamite e C4.
Propelentes	São destinados a produção de um efeito balístico.	Pólvoras mecânicas e Pólvoras químicas (BS, BD e BT).

Tab 1-4. Classificação quanto ao emprego

c. Velocidade de decomposição:

TIPO	DEFINIÇÃO	EXEMPLOS
Baixos explosivos	Reação química progressiva. Deflagração - 400 a 1000m/s.	Pólvora Negra
Altos explosivos	Reação química quase instantânea. Detonação - acima de 1000m/s.	TNT, PETN e RDX.

Tab 1-5. Classificação quanto à velocidade de detonação

d. Constituição:

TIPO	DEFINIÇÃO	EXEMPLOS
Químicos	São aqueles constituídos por substâncias quimicamente puras.	TNT, PETN e RDX.
Mecânicos	São aqueles constituídos de substâncias explosivas ou não, misturadas intimamente e que atuarão como combustível e/ou comburente.	Pólvora Negra (carvão + salitre + enxofre).
Mistos	São aqueles constituídos de dois ou mais explosivos químicos e de elementos inertes, com um fim específico.	Dinamite nitroglicerinada (nitroglicerina + nitrocelulose + nitrato de amônia + elementos inertes).

Tab 1-6. Classificação quanto à constituição

6. EFEITO MONROE

a. Generalidades

A aplicação prática dos efeito “MONROE” e do “sopro” dos explosivos representa o maior progresso no uso dos mesmos durante a II Guerra Mundial. Enquanto que o efeito do “sopro” foi utilizado para aumentar a destruição à distância, o efeito “MONROE” pelo emprego das cargas dirigidas veio possibilitar a concentração da onda explosiva no sentido de obter ma ação perfurante em chapas de aça, concreto etc.

b. Histórico

Em 1888, C.E. MONROE, professor de química da Universidade de Columbia, EUA, descobriu que se um pedaço de nitrocelulose possuísse em sua superfície uma gravação em letras de baixo relevo e fosse detonado de encontro a uma chapa de aço, as letras ficariam gravadas na chapa. Por outro lado, se as letras fossem deixadas alto relevo na superfície, as resultantes, na chapa de aço, assim também se apresentariam. Dessa forma concluiu que os maiores efeitos do explosivo seriam quando o explosivo não estivesse em contato direto com o alvo, no caso, a chapa de aço. MONROE concluiu, também, após sucessivas experiências, que pelo aumento da profundidade da depressão ou cavidade no explosivo, seria possível aumentar os efeitos na chapa.

A despeito de investigações e pesquisas posteriores, foi somente na II Guerra

Mundial que a arte bélica veio lançar mão das descobertas de MONROE. Ao término daquele conflito, todos os beligerantes já o empregavam em grande escala.

c. Definição de carga dirigida

Ver definição no parágrafo 1-3.

d. Partes essenciais

Uma carga dirigida apresenta as partes essenciais mostradas na Fig 1-2.

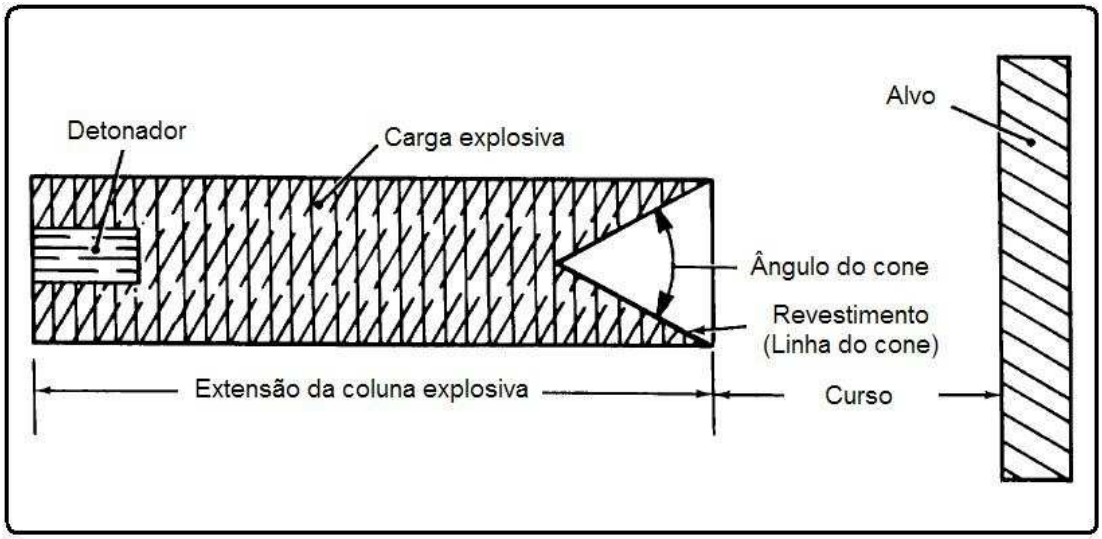


Fig 1-2. Partes essenciais da carga dirigida

e. Fatores importantes que condicionam os efeitos das cargas dirigidas

A ação perfurante de uma carga dirigida depende de uma série de fatores. A seguir serão analisados sucintamente os principais:

(1) Explosivo

A natureza do explosivo empregado é de grande importância para a obtenção de um melhor efeito. Apesar da profundidade de penetração ser mais resultado da pressão dos gases oriundos da detonação do que simplesmente da velocidade de transformação da carga utilizada, os maiores efeitos são produzidos pelos explosivos de grande velocidade de detonação (altos explosivos). Efeitos pobres são apresentados por explosivos cuja velocidade citada é inferior a 5000 m/s.

(2) Revestimento

As cargas sem revestimento têm, essencialmente, o mesmo efeito que as revestidas, quando ambas atuam em contato direto com o alvo. No entanto, se a carga dirigida for colocada a uma certa distância do alvo, os melhores efeitos de perfuração serão apresentados por aquelas que possuírem revestimento. Os revestimentos mais comumente utilizados são cobre, aço, vidro e alumínio.

A espessura ótima do revestimento deve ter cerca de 3 (três) % do diâmetro da carga e ser formada por uma chapa de cobre flexível (referencial). Se outro material for usado como revestimento, este deverá ter aproximadamente o mesmo peso da chapa de cobre que seria calculada como ideal. Pode-se dizer que a cobertura construída com material com densidade menor será mais espessa que a do cobre referencial e aquela que utilizar substância mais densa terá uma espessura menor. Quando empregados como revestimento os metais de maior densidade, de

uma maneira geral, aumentam a profundidade de penetração.

(3) Distância de detonação

O poder de penetração no alvo é afetado fortemente pela distância entre o alvo e a base da cavidade cônica. O curso, como é chamada a distância citada, é normalmente expressa em função do diâmetro da carga. Geralmente a distância ideal está entre dois a seis diâmetros. A perfuração será comumente em torno de quatro a seis diâmetros, podendo chegar até onze ou doze diâmetros.

(4) Formas da cavidade

Diversos ângulos de revestimento e forma de cavidade têm sido estudados e utilizados. Cavidades esféricas produzem furos mais rasos, porém de diâmetro maior que as cônicas. Uma cavidade em forma de “capacete romano” (Fig 1-3) produz maior penetração que o simples cone ou esfera. O ângulo ideal do cone é de quarenta e dois graus, porém são utilizados ângulos entre quarenta e sessenta graus. Da mesma forma foi verificado que uma carga com cavidade axial acima do revestimento tem sua penetração aumentada; essa extensão chama-se reforço e é adaptada ao vértice do revestimento (Fig 1-4A). Uma maior extensão desta combinação produzirá uma penetração melhor e terá um rendimento mais adequado nos projéteis com rotação (Fig 1-4B).

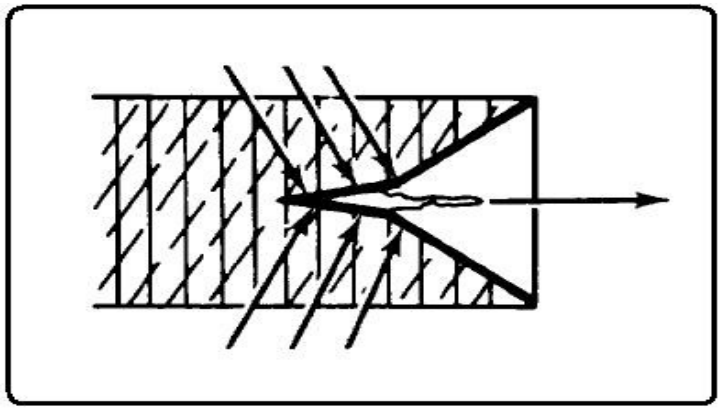


Fig 1-3. Forma de “capacete romano”

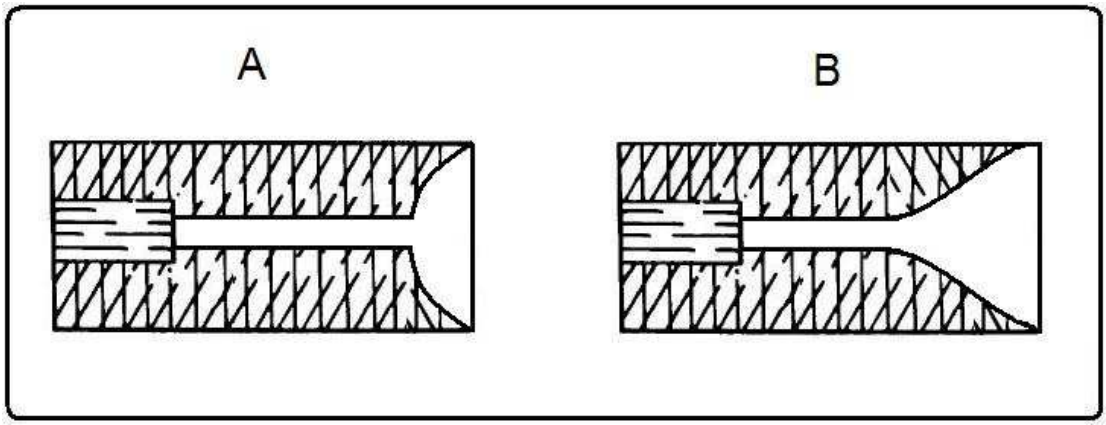


Fig 1-4. Forma

(5) Carregamento

O carregamento das cargas dirigidas requer muita precisão. Qualquer desalinhamento do eixo da cavidade com a massa explosiva causa diminuição do

efeito perfurante. Desuniformidades no seio do explosivo, originadas por diferença de densidade ou má distribuição do mesmo na superfície do revestimento, provocam perda de efeito. Os problemas citados são mais pronunciados nas cargas pequenas.

(6) Rotação

Os projéteis que aplicam o princípio das cargas dirigidas e que são sujeitos à rotação na trajetória apresentam menor penetração que se acionados estaticamente. Geralmente, o poder de penetração reduz conforme a rotação aumenta de zero a duzentas revoluções por segundo, após isto qualquer aumento produz pouco efeito. Esses projéteis podem perder até 50 % dos efeitos perfurantes que apresentariam em testes estáticos.

7. CÁLCULO DO BALANÇO DE OXIGÊNIO

a. Definição

O balanço de oxigênio (OB, ou OB%) é uma expressão usada para indicar o grau a que um explosivo pode ser oxidado. Se uma molécula explosiva contiver suficiente oxigênio para converter todo seu carbono a dióxido de carbono, todo seu hidrogênio à água, todo seu enxofre ao dióxido de enxofre, e todo seu metal ao óxido metálico com nenhum excesso de oxigênio, consideramos que esta molécula tem um balanço de oxigênio zero. A molécula terá um balanço de oxigênio positivo se contiver mais oxigênio do que é necessário e um balanço de oxigênio negativo se contiver menos oxigênio do que é necessário. A combustão será então incompleta, e se formará gases tóxicos como o monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (N_xO_y). A sensibilidade, a força, e a brisância de um explosivo são todos dependentes do balanço de oxigênio e tendem a aproximar seus máximos quando o balanço de oxigênio se aproxima de zero. Os materiais explosivos comerciais devem ter o balanço de oxigênio perto de zero (na maioria, levemente negativo), a fim minimizar a produção de óxidos do nitrogênio e de monóxido de carbono; os produtos gasosos da combustão incompleta são perigosos em espaços confinados, por exemplo, em minas de carvão.

b. Cálculo

(1) Fórmula Geral:

$$\text{Balanço de oxigênio (\%)} = \frac{O_{existente} - O_{necessário}}{M_{explosivo}} .100\%$$

Onde : $O_{existente}$ = quantidade de “Oxigênios” existente na substância.

$O_{necessário}$ = quantidade de “Oxigênios” resultantes da decomposição da substância.

$M_{explosivo}$ = massa molar da substância.

Por exemplo:

$C_5H_8N_4O_{12} \rightarrow 5\ CO_2 + 4\ H_2O + ...$

Lado esquerdo = 12 Oxigênios

Lado direito = 14 Oxigênios

Massa Molar = 5 x 12 (C) + 8 x 1(H) + 4 x 14(N) + 12 x 16(O) = 316

$$\text{Balanço de oxigênio}\,(\%) = \frac{12-14}{316}.100\% = -10{,}1\%$$

(2) Fórmula Empírica:

O balanço de oxigênio é calculado da fórmula empírica de um composto. Considerando novamente a fórmula genérica da maioria dos explosivos orgânico ($C_xH_yO_zN_t$) a fórmula acima se torna:

$$\text{Balanço de oxigênio}\,(\%) = \frac{\left[-1600\left(2(x)+\frac{y}{2}-z\right)\right]}{M_{explosivo}}$$

Onde = x, y e z: Quantidade de átomos de C, H e O, respectivamente.

$M_{explosivo}$: Massa molar da substância.

Por exemplo:

Aplicando a fórmula do PETN ($C_5H_8N_4O_{12}$)

x = 5, y = 8, z = 12

Massa Molar = 5 x 12 (C) + 8 x 1(H) + 4 x 14(N) + 12 x 16(O) = 316

$$\text{Balanço de oxigênio}\,(\%) = \frac{\left[-1600\left(2(5)+\frac{8}{2}-12\right)\right]}{316} = -10{,}1\%$$

(3) Cálculo de substâncias compostas

(a) Cálculo

Pode-se calcular o balanço de oxigênio de uma mistura entrando na fórmula abaixo:

$$OB = \frac{x(OBx)+y(OBy)}{100}$$

Onde: x = percentual em peso da substância "x" na mistura.

y= percentual em peso da substância "y" na mistura.

OB_x = balanço de oxigênio da substância "x".

OB_y = balanço de oxigênio da substância "y".

Por exemplo: O balanço de oxigênio de um ANFO 94/6 (Nitrato de amônio: OB = +20% e Óleo combustível: OB = -346,2%):

$$\frac{94.(+0,20)+6.(-3,462)}{100} = -0,02\%$$

(b) Tabela do balanço de oxigênio de algumas substâncias:

Componente	**Balanço de Oxigênio**
TNT	- 74%
Alumínio em pó	- 89%
Enxofre	- 100%
Carbono	- 226,7%
Nitrato de Amônio	+ 20%
Perclorato de Amônio	+ 34%
Clorato de Potássio	+ 39,2%
Clorato de Sódio	+ 45%
Nitrato de Sódio	+ 47%
Nitroglicerina	+ 3,5%
Óleo diesel	- 346,2%

Tab 1-7. Valores do balanço de oxigênio de algumas substâncias

(4) Gráficos explicativos (Fig 1-5 e 1-6)

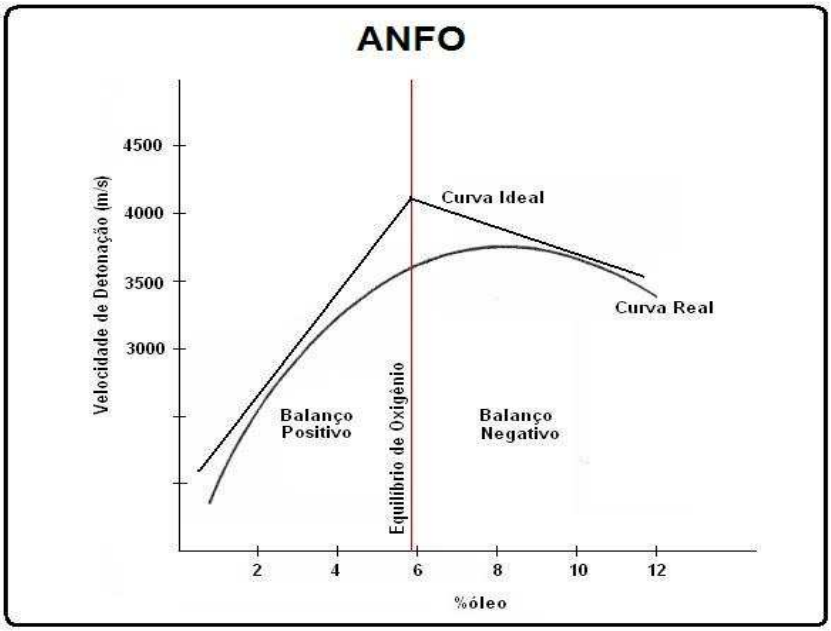


Fig 1-5. Velocidade de detonação do ANFO em relação ao OB

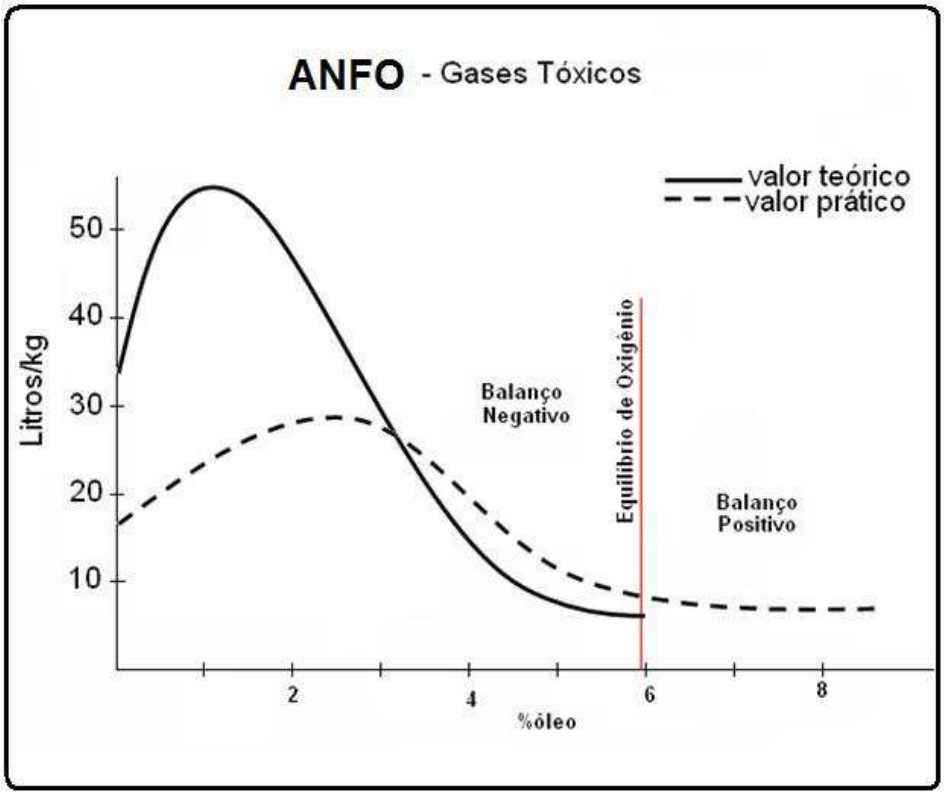


Fig 1-6. Produção de gases tóxicos do ANFO em relação ao OB

Conteúdo extraído dos seguintes manuais:

- BRASIL. Estado-Maior do Exército. **C 5-25: Explosivos e destruições**. 2ª Ed. Brasília: EGGCF, 1991.
- BRASIL. Estado-Maior do Exército. **C 5-34: Vade-Mécum de Engenharia**. 3ª Ed. Brasília: EGGCF, 1996.
- BRASIL. Academia Militar das Agulhas Negras. **Apostila de explosivos e destruições do Curso Avançado**. Editora acadêmica.
- BRASIL. Academia Militar das Agulhas Negras. **Apostila de Explosivos e destruições do Curso de Engenharia**. Editora acadêmica.

CAPÍTULO 2
EXPLOSIVOS MAIS UTILIZADOS

1. PROPRIEDADES DOS EXPLOSIVOS MILITARES

Os explosivos militares devem apresentar as seguintes características:

a. relativa insensibilidade ao choque e à fricção, não devendo detonar pelo choque dos projéteis de armas portáteis;

b. suficiente estabilidade química para permitir o seu armazenamento demorado e em temperaturas entre -62ºC e 74 ºC;

c. dimensão e forma convenientes para embalagem e carregamento;

d. detonação perfeita pela ação dos detonadores comuns;

e. grande potência por unidade de peso;

f. uso conveniente abaixo da água ou em climas úmidos;

g. grande velocidade de detonação;

h. grande densidade;

i. baixa toxidez quando armazenado, manuseado e detonado;

j. barato para fabricar, e

l. capaz de ser produzido prontamente a partir de matérias-primas disponíveis.

2. PRINCIPAIS EXPLOSIVOS

a. O Anexo A (CARACTERÍSTICAS DOS PRINCIPAIS EXPLOSIVOS), mostra as principais características dos explosivos comumente usados. Normalmente, explosivos podem ser usados em substituição a outros, entretanto, alguns são mais indicados para determinadas aplicações.

b. Ao usar o Anexo A para determinar qual o tipo de explosivo a empregar em um determinado trabalho, deve-se levar em consideração tanto a velocidade de detonação como a eficiência relativa. Os explosivos com alta velocidade de detonação são, geralmente, mais indicados para cortes e ruptura do que os de baixa velocidade. Entre dois explosivos, com mais ou menos a mesma velocidade de detonação, o que tiver maior eficiência relativa deverá ser o escolhido.

3. EXPLOSIVOS MILITARES

a. Amatol - é utilizado para substituir o TNT em cargas explosivas. Por conter nitrato de amônio, é sensível à umidade. Se acondicionado corretamente, pode ser armazenado por longos períodos sem perder as suas

características.

b. Azida de chumbo - é empregada na fabricação de detonadores e espoletas. É praticamente insolúvel em água. Seca, não ataca os metais. Em presença da umidade reage com alguns metais (cobre, zinco), dando origem a compostos muito sensíveis. É sensível ao choque, à fricção e ao fogo. Muito sensível às elevações de temperatura. É menos sensível ao fogo (chama) do que o fulminato de mercúrio.

c. Blade – é uma carga linear para corte de peças metálicas ou madeira. O explosivo é acondicionado dentro de um material inerte (espuma) e sua forma triangular produz o efeito de carga dirigida (Fig 2-1). A parte interna do triângulo possui uma camada de mistura plástica composta por metais nobres (esses metais submetidos à explosão formam um “jato quente” que amplifica o efeito de corte). Para fixação da carga, existe uma fita adesiva na parte inferior do material inerte.

Fig 2-1. Explosivo Blade

d. Compostos A3, B e B4 - são normalmente utilizados em cargas de reforço ("booster") ou como carga principal de cargas dirigidas ou "torpedos bangalore".

e. Composto C4 - também chamado "HARRISITE", é um explosivo plástico, de cor branca, som odor característico. Por sua alta velocidade de detonação, brisância e plasticidade, é empregado, principalmente, no corte de peças metálicas. É moldável em temperaturas compreendidas entre **- 57º C** e 77ºC. Nestas condições possui a mesma sensibilidade do TNT. Possui grande resistência à água e pode ser utilizado em cargas subaquáticas. No entanto, é aconselhável que seja colocado em invólucro para evitar erosão motivada pela correnteza.

f. Dinamite militar - é fabricada para emprego como explosivo de média velocidade, para substituir as dinamites comerciais nas construções militares e trabalhos de demolição (destocamento, valeteamento, corte em rocha e abertura de crateras). A dinamite militar não é eficaz para cargas de corte ou de ruptura. Essa dinamite, ao contrário da dinamite comercial, não contém nitroglicerina, sendo assim mais estável e segura para o transporte, armazenagem e manuseio. É relativamente insensível à fricção, choque e impacto dos projéteis de armas portáteis. Pode ser usada em carga subaquática, desde que não haja um período de imersão superior a 24 horas.

g. Fulminato de mercúrio - é um alto explosivo, normalmente empregado nas composições para escorvas à percussão (inflamação de pólvora). É insolúvel na água e quando seco, não ataca os metais. Em presença de umidade, reage com alguns metais (cobre, zinco), dando origem a compostos muito sensíveis e perigosos. Sensível ao choque, à fricção e ao fogo. Sua conservação é delicada e é extremamente tóxico. Deve-se evitar o seu contato com a pele e a inalação de sua poeira.

h. Nitrato de amônio - é o menos sensível dos explosivos militares, exigindo uma carga reforçadora para iniciar sua detonação. Devido à sua baixa sensibilidade, é um componente de muitos compostos explosivos (combinado com um de maior sensibilidade explosiva). Não é adequado para corte ou cargas de ruptura porque tem uma baixa velocidade de detonação. No entanto, devido à grande quantidade de gases que libera quando é detonando, é utilizado largamente na abertura de crateras e em desmonte de rochas. Vem normalmente embalado em um recipiente hermeticamente fechado, pois é extremamente higroscópico (absorve umidade). O Nitrato de amônio ou compostos explosivos contendo nitrato de amônio não são adequados para utilização subaquática, a menos que estejam embalados em invólucros impermeáveis ou sejam detonados imediatamente após sua colocação. Pode ser misturado com óleo diesel, na proporção de 94% de nitrato de amônio para 6% de óleo diesel, formando o explosivo conhecido como ANFO, que pode ser usado, com maior vantagem (a inserção do óleo diesel favorece uma maior produção de gases, pois aproxima o balanço de oxigênio da mistura a zero) como carga para abertura de crateras.

i. PETN (Nitropenta) - é utilizada em detonadores, cordéis detonantes e espoletas. É também utilizado em composições explosivas com outros explosivos. Também conhecido como pentrita ou tetranitrato de pentaeretrita, é extremamente sensível e um dos mais poderosos explosivos militares. É comparado, em força, à nitroglicerina e ao RDX. Tem ótimo emprego subaquático, porque é quase insolúvel em água.

j. Pentolite - é normalmente utilizado como substância explosiva nas cargas dirigidas e detonadores. É um alto explosivo que consiste na mistura de PETN (50%) e TNT (50%).

k. Plastex - é um explosivo plástico, não aderente, fabricado pela IMBEL, e utilizado, principalmente, no corte de peças metálicas. É normalmente fornecido em placas retangulares de 40x25cm e 2 mm de espessura.

l. Pólvora negra - é normalmente usada nos estopins, acendedores e alguns detonadores. É o mais antigo explosivo e propelente conhecido. É um baixo explosivo constituído de nitrato de sódio ou de potássio, enxofre e carvão. Devido à sua baixa velocidade de queima, é utilizada nos trabalhos em que não se desejam fortes efeitos de ruptura. É altamente inflamável e decompõe-se facilmente pela ação da água, devendo por isso ser empregada somente em locais secos.

m. RDX - também conhecido como hexogênio, ciclonita, trimetil e nitroamida ou T4, é extremamente sensível e um dos mais poderosos explosivos militares. Quando é RDX desensibilizado, é utilizado como uma carga reforçadora. É empregado em composições explosivas, detonadores,

espoletas e cargas explosivas. Sua principal utilização está na composição de outros explosivos, tais como Composição A, B e C.

n. Tetril - é empregado em composições explosivas, detonadores (escorva), espoletas e cargas explosivas. É mais sensível e potente do que o TNT. O Tetril vem sendo substituído pelo RDX ou pelo PETN, que apresentam melhores resultados.

o. Tetritol - é empregado em cargas de demolição e nos detonadores (escorva). É mais potente e brisante do que o TNT e menos sensível do que o Tetril.

p. TNT - é empregado em composições explosivas, como reforçador, ou carga explosiva para quase todos os tipos de trabalho demolição. Também conhecido como trinitrotolueno, tolita ou trotil, é um alto explosivo de grande potência e alta velocidade de detonação. Praticamente insolúvel em água, não reage com os metais. Funde-se a 80º C. É normalmente utilizado na forma aglomerada, obtida pela compressão ou pela fusão. Pouco sensível ao choque e à fricção, não explode pelo simples impacto de um projétil de arma portátil. Pode, entretanto, explodir pelo fogo concentrado de metralhadora ou fuzis. Queima ao contato com o fogo, mas pode explodir, quando confinado ou queimado em grandes quantidades. Uma espoleta de poder inferior ao da espoleta comercial número 8 poderá não explodi-lo completamente. Os gases produzidos pela sua detonação são tóxicos.

4. EXPLOSIVOS COMERCIAIS

a. Existe uma grande quantidade de explosivos comerciais fabricados pela Indústria Nacional. Esses explosivos possuem características que muitas vezes se aproximam dos explosivos militares. Os catálogos destas firmas trazem todas as informações necessárias para a utilização e o emprego dos mesmos.

b. A maioria dos explosivos comerciais não é apropriada para os trabalhos de destruição em combate, entretanto, se necessário, podem ser utilizados nas zonas afastadas da frente.

c. Os explosivos comerciais mais comuns são: aquagéis, dinamites, gelatinas e semi-gelatinas, lamas, nitrocarbonitratos e pólvora negra.

d. O anexo B(EXPLOSIVOS COMERCIAIS) mostra as principais características dos explosivos comumente usados para fins comerciais.

5. EXPLOSIVOS COMERCIAIS

a. Nitroglicerina - é utilizada como explosivo-base na composição das dinamites comerciais. Não é utilizada nos explosivos militares. É um dos mais poderosos explosivos, sendo comparada em força ao RDX e PETN. É extremamente sensível, mesmo às variações de temperatura, sendo de manuseio muito perigoso. Os explosivos à base de Nitroglicerina são normalmente fornecidos em cartuchos de papel, papelão ou invólucros plásticos. A maior ou menor força de um explosivo é dada pela quantidade de nitroglicerina usada na sua fabricação. Aumentando-se a quantidade de

nitroglicerina, aumenta-se a velocidade de detonação e também a resistência do explosivo à água.

b. Aquagéis - são explosivos de elevada resistência à água e, normalmente, de baixa produção de gases tóxicos e fumaça. São recomendados para desmontes de rocha, inclusive subterrâneos.

c. Dinamites

(1) Generalidades

A dinamite é o alto explosivo comercial mais comum, no entanto, por possuir nitroglicerina, é sensível ao fogo, fricção, onda explosiva e ao choque, mesmo provocados por projéteis de armas portáteis ou fragmentos de granadas. Por sua alta sensibilidade e relativa instabilidade química, não deve ser empregada em áreas de combate, nem armazenada em paióis militares. As dinamites apresentam grande variação de força e sensibilidade, em função da quantidade de nitroglicerina que possuem. A explosão de quase todos os tipos de dinamite produz gases venenosos. As dinamites explodem pela ação da espoleta comercial número 6 ou outra mais potente.

(2) Armazenagem

(a) Quando as caixas de dinamite são estocadas, a nitroglicerina tende a se concentrar na parte mais baixa dos cartuchos. Para evitar esta concentração, as caixas devemser viradas em intervalos frequentes e regulares.

(b) As dinamites velhas podem ser identificadas pelo aparecimento de oleosidade nos cartuchos ou nas caixas (EXSUDAÇÃO).

(3) Tipos de dinamites

(a) Os tipos mais comuns são: a dinamite comum, dinamite-amônia e dinamite-gelatina. Esta denominação é dada conforme o tipo de substância, combinada com a nitroglicerina para dar origem à dinamite.

(b) A porcentagem de força da dinamite (40%, 60% ou 75%) é o percentual de sua potência em relação à nitroglicerina, que possui 100% de força. Assim, um explosivo de 75% de força possui apenas 75% da capacidade de realizar o trabalho da nitroglicerina pura.

(c) A dinamite 50% é equivalente, em força, ao TNT.

(d) As dinamites podem ser acondicionadas de várias formas, existindo embalagens de diferentes materiais e diversas dimensões (comprimento e diâmetro), objetivando atender aos diferentes tipos de serviço e material a serem demolidos.

(e) Atualmente, há uma tendência para se substituir a nitroglicerina por um outro explosivo menos sensível nas "dinamites", mas esta denominação genérica continuará a ser empregada, particularmente, para os explosivos sólidos ou gelatinosos acondicionados na forma cilíndrica alongada.

d. Emulsões explosivas - São emulsões preparadas na forma água em óleo que com a adição de "ar armadilhado" se tornam detonáveis. Estas emulsões consistem de uma fase descontinua (oxidante) composta de gotículas de uma solução aquosa de nitrato de amônio e de uma fase contínua (combustível) composta por uma solução oleosa de combustíveis (óleo mineral e cera) (Fig 2-2). São explosivos que, pela sua consistência, facilitam o carregamento de furos com as mais variadas inclinações e formas no material a ser demolido. Consequentemente, São praticamente insolúveis na água (grande resistência à água) e são utilizadas para o desmonte de qualquer tipo

de rocha.

(1) Características:

(a) São produzidas com poucas matérias primas;

(b) Possuem alta velocidade de detonação e alta pressão de detonação

(c) Apresentam ótima vida em prateleira, mantendo a consistência da massa na faixa de - 7° C a 32° C;

(d) Normalmente, não possuem nitroglicerina em sua composição;

(e) Os gases resultantes da explosão, normalmente, não causam efeitos fisiológicos negativos (dores de cabeça, náusea, etc.); e

(f) São muito estáveis e seguras.

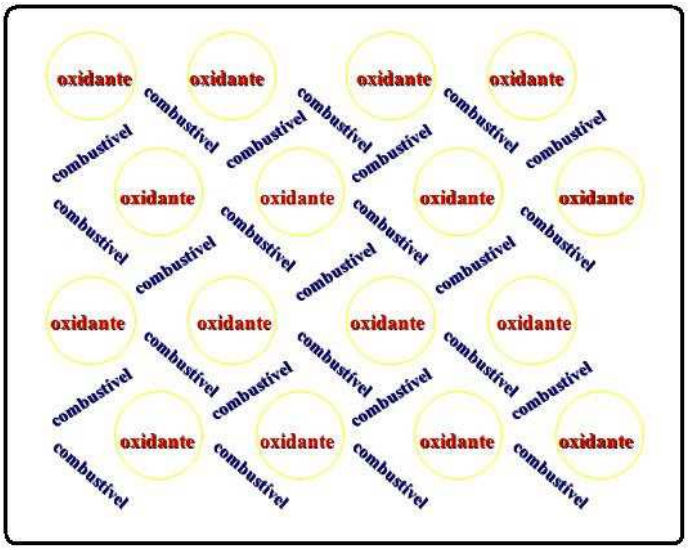


Fig 2-2. Composição da emulsão explosiva

(2) Composição (formulação típica):

COMPONENTES	SUBSTÂNCIA	QUANTIDADE (%)
Sais orgânicos	- Nitrato de amônio - Nitrato de sódio	77 %
Água	-	16 %
Combustíveis	- Óleo diesel	4 %
Emulsificante	- Oleato de sódio	2 %
Sensibilizantes	- Nitrito de sódio - Micro balões	Menos de 1%
Controladores de densidade	- Perlita	Menos de 1%
Alumínio	-	Menos de 1%

Tab 2-1. Formulação típica da emulsão explosiva

e. Gelatinas e Semi-Gelatinas - são explosivos gelatinosos, que apresentam alta resistência à água. Apresentam baixas quantidades de nitroglicerina, menor velocidade de detonação e, consequentemente, são mais baratos. Normalmente, em sua composição, parte da nitroglicerina é substituída por nitrato de amônio. São utilizadas no desmonte de rochas muito duras ou médias, a céu aberto, subterrâneas ou subaquáticas.

f. Lamas explosivas - são soluções aquosas contendo partículas sólidas em suspensão e constituídas de água, sais oxidantes, combustíveis e

um ou mais sensibilizantes tornando o produto detonável. São explosivos que, pela sua consistência, apresentam a vantagem de ocupar todo o espaço vazio do furo.

(1) Características:

(a) Segura ao transporte, estocagem e manuseio;

(b) Excelente resistência à água;

(c) Desempenho excelente;

(d) Baixa produção de gases tóxicos;

(e) Não provoca dor de cabeça, pois não possui nitroglicerina em sua composição;

(f) Ao arrebentar-se a sua embalagem durante o carregamento, há melhor aproveitamento da energia liberada; e

(g) São utilizadas o para o desmonte de quase todos os tipos de rocha.

(2) Composição (formulação típica):

COMPONENTES	SUBSTÂNCIA	QUANTIDADE (%)
Sais oxidantes	- Nitrato de amônio - Nitrato de sódio	65 a 80%
Espessantes	- Goma Guar (polissacarídeo)	1 a 2%
Combustíveis	- Óleo diesel, ou - NMEA (Nitrato de Monoetanolamina)	2 a 5%
Sensibilizantes	- NMEA - Alumínio atomizado - Gaseificadores de espuma	0 a 10%
Estabilizantes	- Carbonato de cálcio - Estabilizante de espuma	Menos de 1%
Agentes cruzadores	- Piro Antimoniato de Potássio	1 a 2%
Agentes aerantes	- Perlita - Nitrito de sódio	0,2%
Água	-	15 a 20%

Tab 2-2. Formulação típica da lama explosiva

g. Nitrocarbonitratos - são agentes explosivos a base de nitrato de amônio, diferenciando-se pela presença de componentes explosivos (nitrocarbonitratos) ou ausência dos mesmos (carbonitratos).

(1) Características:

(a) São, normalmente, explosivos granulados.

(b) Possui baixa velocidade de detonação e densidade, mas de grande volume gasoso.

(c) Pode ser derramado ou injetado nos furos (carregamento pneumático).

(d) São pouco resistentes à água, mas oferecem alta segurança e facilidade de manuseio.

(e) Seus gases são pouco tóxicos.

(f) São, normalmente, empregados para cargas de colunas em rochas médias

h. Pólvoras negras

(1) Generalidades

(a) É usada nos trabalhos em pedreiras, para cortar pequenas dimensões, nos cortes a meia encosta e nos trabalhos de escavação em geral, ou seja, onde se desejar uma ação lenta e pesada.

(b) Deve preencher totalmente a cava existente, sob um enchimento muito bem feito, para que se obtenha um resultado satisfatório.

(b) A sua ignição pode ser feita por estopim comum ou faísca elétrica. Não exige choque de detonação.

(c) A velocidade de queima da pólvora negra depende do tamanho dos grãos: quanto mais fina, mais rápida. É fabricada em várias granulações para atender a diferentes empregos.

(d) São fabricadas sob duas formas: granulada, ou de ruptura, e tubular ou prensada.

(2) Tipos

(a) Pólvora Negra de Ruptura (Granulada)

- É uma substância negra, granulada, de aspecto brilhante
- Há dois tipos de pólvora negra de ruptura: "A" e "B".

(b) Pólvora Negra de Ruptura tipo A ("A Blasting Powder")

- Contém salitre e nitrato de potássio.
- É mais rápida, mais forte e menos higroscópica que a “B”.
- É utilizada na exploração de pequenas pedreiras, fabricação de estopins e fogos de artifício.

(c) Pólvora Negra de Ruptura tipo B ("B Blasting Powder")

- Contém nitrato de sódio no lugar dos sais de potássio.
- É usada no desmonte de material macio (argila) em locais subterrâneos sem ocorrências de gases.

(d) Pólvora Negra Prensada (Tubular)

- É a pólvora negra comprimida em tubos cilíndricos. Cada cilindro tem um furo central para permitir a inserção de um estopim ou de uma espoleta elétrica.

- É empregada em minas subterrâneas para o desmonte de carvão e argila.

6. EXPLOSIVOS ESTRANGEIROS

Além dos explosivos apresentados em detalhes neste manual, em alguns países ainda se usa o ácido pícrico e o algodão pólvora.

a. Ácido Pícrico - tem quase as mesmas características do TNT, mas corrói os metais, formando compostos muito sensíveis. É sólido-cristalino e de cor amarelo-limão, sendo muito pouco solúvel em água. Se for encontrado em recipiente danificado, não usá-lo. Neste caso, deve ser manuseado com cuidado e destruído.

b. Algodão Pólvora - é obtido pela nitração da celulose do algodão.

Este componente pode ser utilizado em explosivos e propelentes.

7. EMPREGO

Os explosivos inimigos capturados e os das nações aliadas podem ser usados em complemento aos suprimentos normais. Isto, entretanto, deve ser executado por pessoal especializado de acordo com as instruções e diretrizes baixadas pelo comandante do TO.

Os explosivos de outras nações podem ser menos sensíveis do que os usados no Brasil, neste caso, necessitarão um escorvamento mais eficiente.

Deve-se testar os explosivos estrangeiros antes de empregá-los

Conteúdo extraído dos seguintes manuais:

- BRASIL. Estado-Maior do Exército. **C 5-25: Explosivos e destruições**. 2ª Ed. Brasília: EGGCF, 1991.
- BRASIL. Estado-Maior do Exército. **C 5-34: Vade-Mécum de Engenharia**. 3ª Ed. Brasília: EGGCF, 1996.
- BRASIL. Academia Militar das Agulhas Negras. **Apostila de explosivos e destruições do Curso Avançado**. Editora acadêmica.
- BRASIL. Academia Militar das Agulhas Negras. **Apostila de Explosivos e destruições do Curso de Engenharia**. Editora acadêmica.

.

CAPÍTULO 3
EQUIPAMENTOS DE DESTRUIÇÃO

1. EQUIPAMENTOS

Os equipamentos de destruição são distribuídos às tropas de engenharia, infantaria, aeroterrestres, cavalaria e ainda outras unidades, de acordo com os quadros de dotação de material. Cada equipamento contém os explosivos e os acessórios para escorvá-los e acioná-los.

2. ACESSÓRIOS

a. Espoletas

(1) Descrição

As espoletas mais comumente empregadas são as Nr 6 e Nr 8; esta última sendo a mais potente. O anexo E (CARACTERÍSTICAS DAS ESPOLETAS) indica os tipos de espoletas necessárias para assegurar a explosão.

(2) Características gerais

(a) Extremamente sensíveis, explodindo quando manejadas sem o devido cuidado;

(b) Devem ser protegidas contra choque, pressões e calor elevado;

(c) Devem ser armazenadas separadas de outros explosivos, e

(d) Só devem ser transportadas na mesma viatura, com explosivos, em casos de emergência.

(3) Tipos

(a) Espoleta comum (Fig 3-1)

1) Descrição

Acessório de detonação para iniciar isoladamente cargas explosivas, por meio de estopim. Trata-se de uma espoleta simples, instantânea, apresentada normalmente em dois tipos, equivalentes aos Nr 6 e Nr 8, em função de suas cargas explosivas.

2) Emprego

Acessórios de detonação para iniciar cargas explosivas por meio do estopim.

3) Tipos

Varia em função da quantidade de carga (a denominação é baseada pelo efeito da explosão em um bloco de chumbo padronizado). Exp: Nr 6 e Nr 8.

4) Funcionamento e utilização

São projetadas para detonar pela chispa ou fagulhas emitidas pelo estopim de segurança. A combinação produz um detonador eficiente e digno de confiança, apresentando máxima segurança no uso.

5) Precauções

a) Atentar para as precauções gerais das espoletas.

b) O funcionamento das espoletas comuns depende da perfeição

do seu acoplamento com o estopim.

c) Não devem ser empregadas para escorvar cargas sob a água por não possuírem vedação perfeita. Em tais casos, deve-se utilizar o cordel detonante para escorvar as cargas subaquáticas, caso esteja-se utilizando acionamento de fogos pirotécnicos.

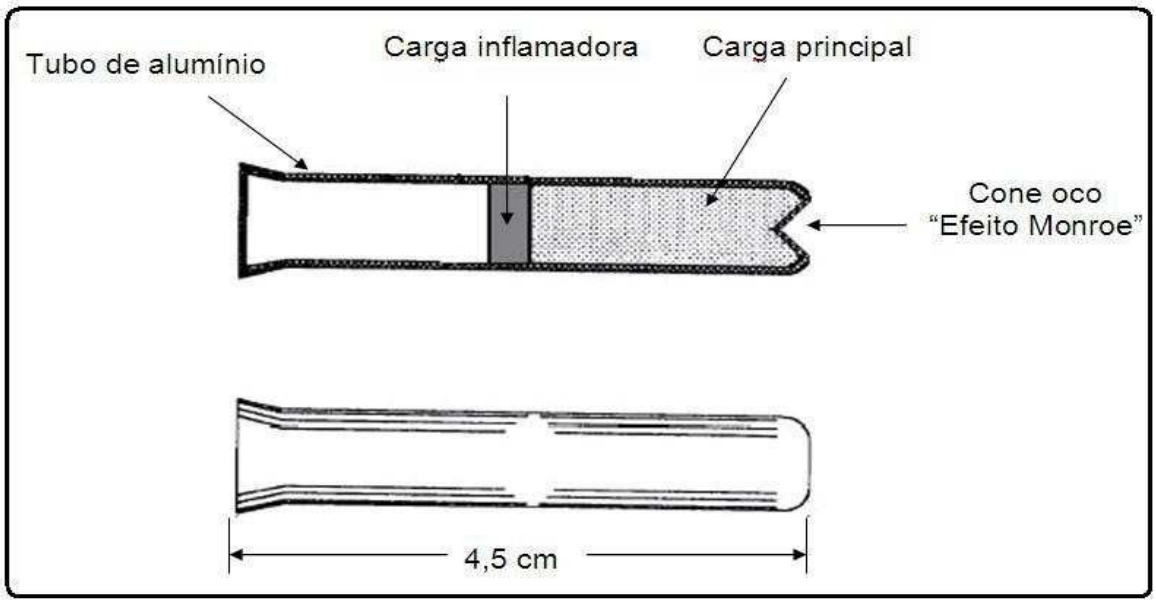


Fig 3-1. Espoleta comum

(b) Espoleta elétrica (Fig 3-2 e 3-3)

1) Descrição

É composta por uma espoleta comum, acionada por uma resistência elétrica que incandesce quando da passagem de uma corrente elétrica por dois fios de fios de cobre eletrolítico ou ferro estanhadado, isolados com PVC. As espoletas elétricas têm condutores com determinados comprimentos para se ligarem ao circuito. Uma derivação de curto-circuito ou "SHUNT" mantém ligadas as extremidades livres dos condutores. Esta derivação evita qualquer descarga elétrica acidental sobre a espoleta. Deve-se retirá-Ia antes de ligar a espoleta ao circuito.

2) Emprego

Acessório de detonação para iniciar, simultaneamente ou com retardo, cargas explosivas à distância por meio de corrente elétrica.

3) Tipos

a) Sem retardo (Fig 3-2)

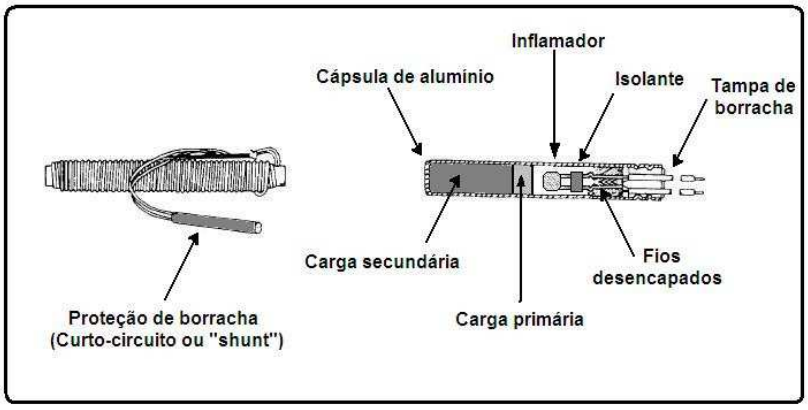


Fig 3-2. Espoleta elétrica sem retardo

b) Com retardo (Fig 3-3)

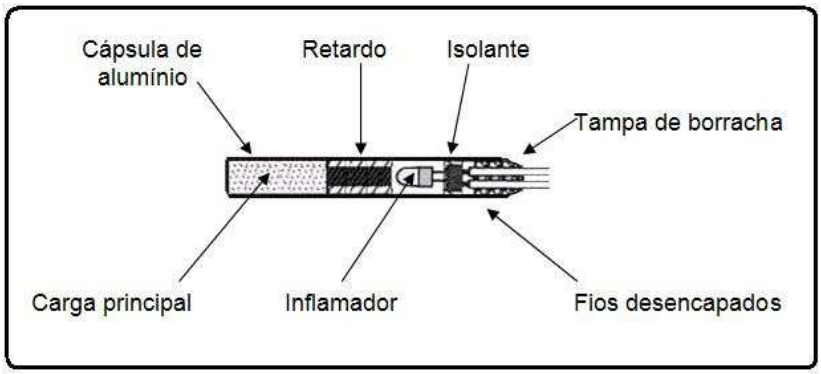


Fig 3-3. Espoleta elétrica com retardo

4) Funcionamento e utilização

As espoletas elétricas, em geral, têm uma carga-base de alto explosivo e uma carga iniciadora comprimida de azida de chumbo. O elemento elétrico de detonação consiste em dois fios com isolamento plástico, uma tampa de borracha que os mantém em posição e uma pequena ponta de fio de pequeno diâmetro, resistente à corrosão, ligando as duas pontas dos fios isolados, abaixo da tampa. O conjunto da tampa é duplamente amoldado à cápsula. Quando se aplica corrente elétrica, o fio da ponta se aquece até a incandescência e detona instantaneamente a espoleta. Para ser acionada necessita de uma corrente de 1 A a 1,5 A.

5) Precauções

Além das precauções gerais das espoletas, deve-se evitar a utilização de espoletas de fabricantes diferentes em um mesmo circuito, devido às características técnicas diferentes. Isto é primordial para evitar falhas no lançamento de fogo.

(c) Espoleta eletrônica (Fig 3-4)

1) Descrição

Acessório de detonação para iniciar com retardo programado e à distância, cargas explosivas por meio de um “chip” eletrônico. São compostas basicamente por uma espoleta comum e um “chip” eletrônico que utiliza energia elétrica armazenada em um ou mais capacitores para fornecer a energia necessária para iniciar o explosivo da espoleta no tempo programado.

2) Emprego

É utilizada nos trabalhos de desmonte de rocha e demolições quando se deseja obter um retardo entre as detonações programadas.

3) Tipos

Varia em função da quantidade de explosivo.

4) Funcionamento e utilização

O tempo de retardo é programado por meio de um computador, proporcionando uma maior exatidão no tempo de detonação.

5) Precauções

Atentar para as precauções gerais das espoletas.

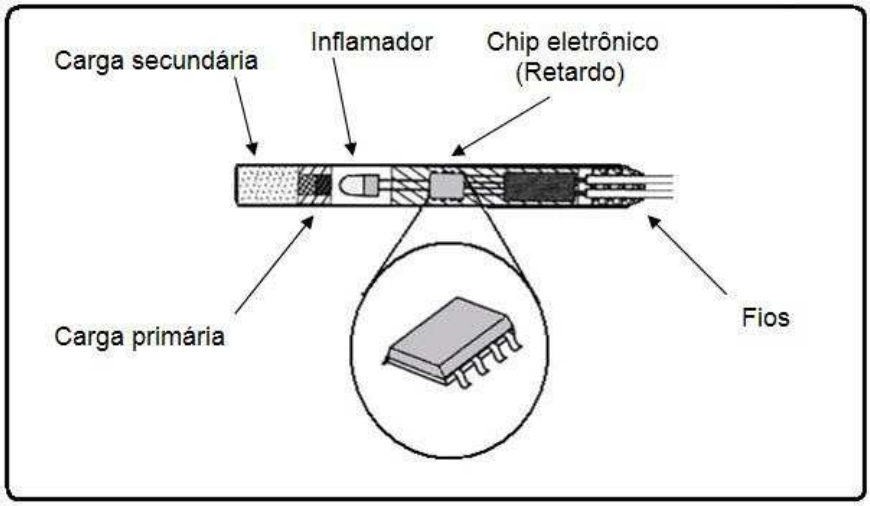


Fig 3-4. Espoleta eletrônica

b. Cordel detonante (Fig 3-5)

(1) Descrição

O cordel detonante contém em seu interior um explosivo em pó, normalmente o PETN. O explosivo é colocado entre uma estrutura de fios de maneira a dar resistência ao cordel, tendo como invólucro, uma cobertura termoplástica, de cor amarela, azul, laranja ou vermelha.

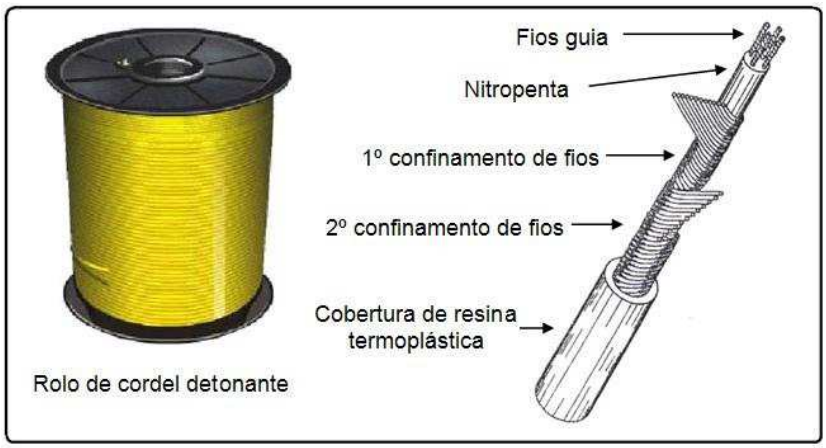


Fig 3-5. Cordel detonante

(2) Características gerais (Ver Anexo F)

(a) Cor interna: Branca (PETN).

(b) O cordel detonante é insensível à fricção e aos choques comuns, porém pode detonar pelo impacto de um projétil de fuzil, se vários pedaços de cordel estiverem juntos em contato íntimo.

(c) Pode detonar pela ação de uma espoleta Nr 6 ou de outras mais potentes que esta última.

(d) O cordel detonante explode, numa velocidade aproximada de 7.000 metros por segundo, com força suficiente para fazer detonar outros explosivos que a ele estejam diretamente ligados.

(e) Embalagem

O cordel detonante é distribuído em carretéis que podem variar de acordo com sua especificação. Ver tabela Tab 3-1.

(3) Emprego

O cordel detonante é usado para fazer escorvas e acionar simultaneamente um número de cargas isoladas. Um emprego especial do cordel detonante é o que se faz em conexão com o lançamento pirotécnico de fogo em fornilhos abertos em terrenos úmidos ou em cargas subaquáticas. É particularmente usado para o acionamento de cargas enterradas, especialmente quando há mais de 30 cm de aterro sobre o explosivo. Em tais circunstâncias, é difícil, se não impossível, a remoção de uma eventual falha pela explosão de outra carga colocada na superfície do solo.

(4) Tipos

Os tipos de cordel detonante variam de acordo com o explosivo e a taxa de carregamento de seu núcleo. Ver Tab 3-1.

TIPO	EXPLOSIVO	CARGA DO NÚCLEO	DIÂMETRO	EMBALAGEM (Carretel)
NP-3	PETN	3 g/m	3,0 mm	1000 m
NP-5	PETN	5 g/m	4,5 mm	750 m
NP-10	PETN	10 g/m	5,0 mm	500 m

Tab 3-1. Tipos de cordel detonante

Obs: Os modelos apresentados acima são os mais comuns encontrados no mercado. As duas primeiras letras representam o tipo de explosivo (Exp: PETN ou Nitropenta - NP). O número na sequência indica a quantidade de carga do núcleo (Exp: NP-3 - 3g/m).

(5) Funcionamento e utilização

O cordel detonante explode, numa velocidade aproximada de 7.000 metros por segundo, com força suficiente para fazer detonar outros explosivos que a ele estejam diretamente ligados.

(6) Precauções

Para manuseio e emprego do cordel detonante, observar as seguintes regras:

(a) Evitar dobras e curvas muito fechadas.

(b) Manejar com especial cuidado o cordel detonante, em tempo frio para evitar que se quebre o invólucro ou o rastilho do explosivo.

(c) Estender o cordel em linhas tão retas quanto possível, sem esticar em demasia. Ele tende a formar uma espiral, quando retirado de sua bobina. Para evitar falhas, ele deve ser esticado, antes do lançamento do fogo.

(d) Não remover nenhuma parte do seu invólucro original.

(e) Quando se usar em cargas sob a água, ou em cargas que devem ser instaladas várias horas antes do lançamento do fogo, empregar um composto impermeabilizante no terminal do cordel, evitando a umidade. Basta usar o composto em 15 cm de cordel, na extremidade para proteger o restante da linha durante 24 horas. Só fazer ramificações com o cordel detonante empregando os processos indicados no Capítulo 4 deste manual.

c. Estopim (Fig 3-6)

(1) Descrição

O estopim (Fig 3-6) contém um rastilho de misto de pólvora negra, comprimido e envolvido por várias camadas de tecido e materiais impermeabilizantes. Ele transmite à espoleta comum o fogo que acionará a carga explosiva. O estopim queima vagarosamente e com velocidade uniforme, permitindo que, após o lançamento de fogo a uma carga explosiva, o pessoal encarregado se afaste para um lugar seguro, antes da explosão da carga.

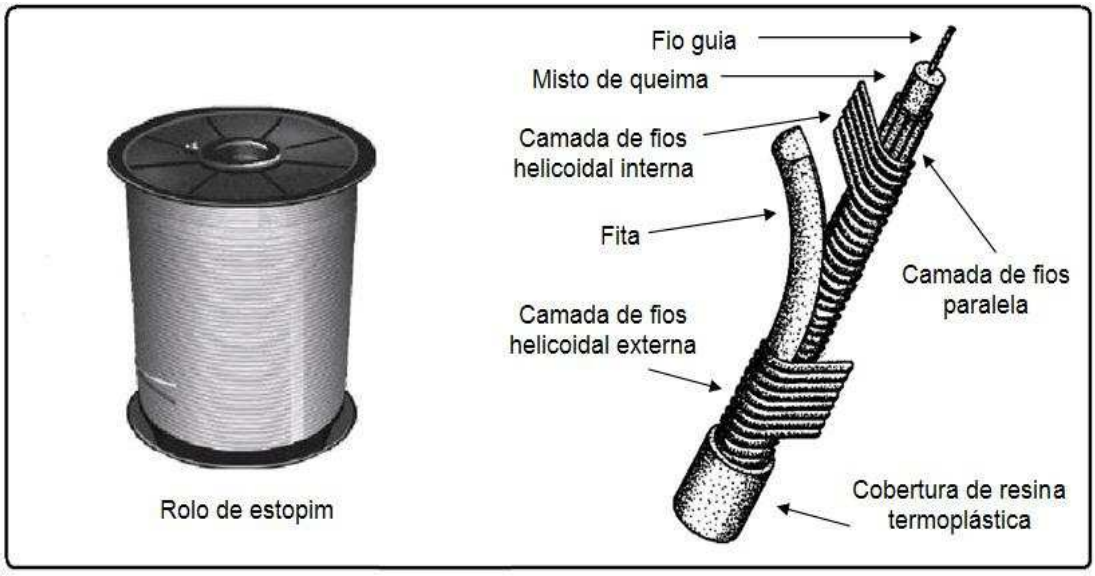


Fig 3-6. Estopim

(2) Características gerais (Ver Anexo F)

(a) Cor interna: Preta (Misto de pólvora negra).

(b) A velocidade média de combustão dos diferentes rolos de estopim pode variar de 100 a 150 segundos por metro.

(c) Embalagem

O estopim é distribuído em rolos de 500 m. O revestimento é relativamente polido e pode receber pinturas de várias cores, sendo mais comum a branca (estopim hidráulico) e a preta (estopim comum).

(3) Emprego

O estopim é empregado na iniciação de um sistema de fogo pirotécnico, permitindo calcular empiricamente o tempo de espera para a detonação.

(4) Tipos

(a) Estopim comum

(b) Estopim hidráulico

(5) Funcionamento e utilização

O estopim pode ser iniciado por uma chispa de fogo obtida por meio de fósforo, isqueiro, outro estopim, acendedores regulamentares, etc.

(6) Precauções

(a) Armazenagem - deve ser armazenado em lugar fresco, seco, livre de óleos, tintas, gasolina, querosene e outros dissolventes.

(b) Manuseio - deve-se evitar torcimentos, dobras ou viradas bruscas que podem fender o revestimento e causar quebras no rastilho de pólvora do estopim

d. "NONEL" (Fig 3-7 e 3-8)

(1) Descrição

O "NONEL" ("Non-electric") é um sistema não elétrico, que transmite uma onda de choque capaz de iniciar uma espoleta comum amolgada em sua extremidade.

(2) Características gerais

(a) O tubo “NONEL” é a prova de água. Caso esteja danificado, a água pode penetrar e a propagação da explosão poderá ser interrompida.

(b) O diâmetro exterior possui 3 mm e o interior 1,10 mm.

(c) A quantidade aproximada de explosivo introduzido em seu interior é de 19 mg/m. Dessa forma, com 1 kg de explosivo, pode-se fabricar 50.000 m de tubo “NONEL”.

(3) Emprego

O “NONEL” pode ser utilizado nos diversos tipos de trabalhos de detonação, como: desmonte em rocha, demolições de edificações, destruições militares, cargas subaquáticas etc. Apresenta diversas vantagens em seu uso: barulho e vibração de ar reduzidos em sua detonação e segurança no manuseio em interferências elétricas. Porém seu custo ainda é alto e não apresenta equipamentos para teste do circuito.

(4) Tipos

O “NONEL” pode variar de acordo com:

- Tamanho do tubo – Exp: 9 metros, 15 metros etc.

- Tempo de retardo – Exp: 9ms(milissegundos), 500, 2000 ms etc.

(5) Funcionamento e utilização

O tubo “NONEL” consiste em um tubo fino de plástico laminado, cuja parede interior está coberta por uma fina película de material explosivo de hexogêno ou pentrita. Quando se inicia seu funcionamento, esta capa explosiva se desprende, gerando uma pequena explosão, que transmite, de forma segura e confiável, uma onda de choque que se propaga a uma velocidade de 2.000 m/s, através do interior do tubo, mas sem transmiti-la para o exterior. Dessa forma, não afeta qualquer explosivo ou material em contato com o tubo. A quantidade de explosivo que proporciona a propagação é tão pequena que, mesmo depois da detonação, a parte exterior do tubo “NONEL” permanece intacta.

(6) Precauções

(a) Evitar dobras agudas ou cortes no tubo “NONEL”.

(b) O produto em embalagem original e devidamente estocado possui uma validade 2 anos. Embalagens abertas reduzem a validade para 3 meses.

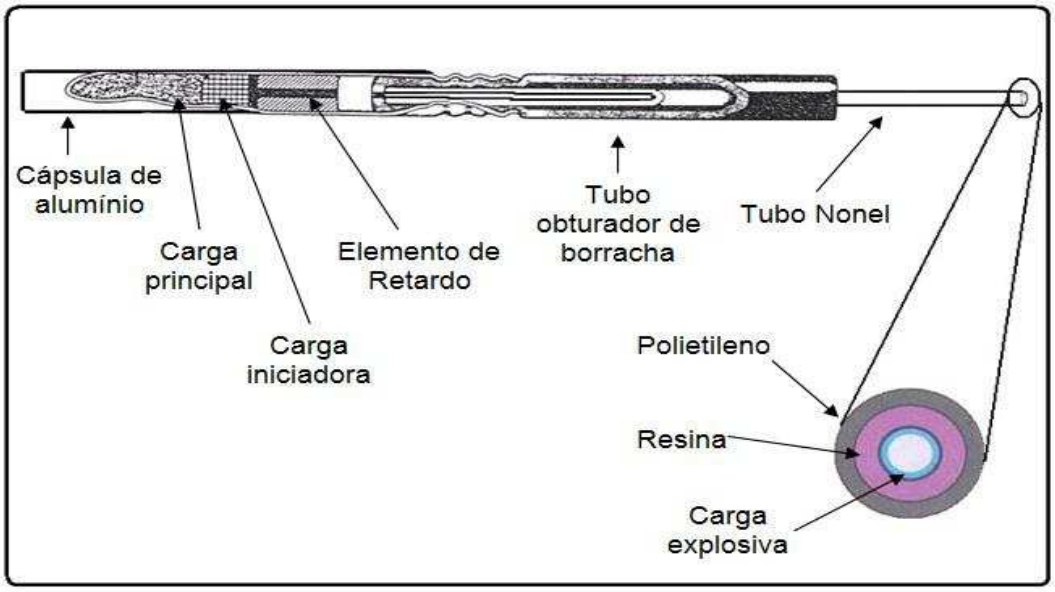


Fig 3-7. Detalhes do sistema “NONEL”

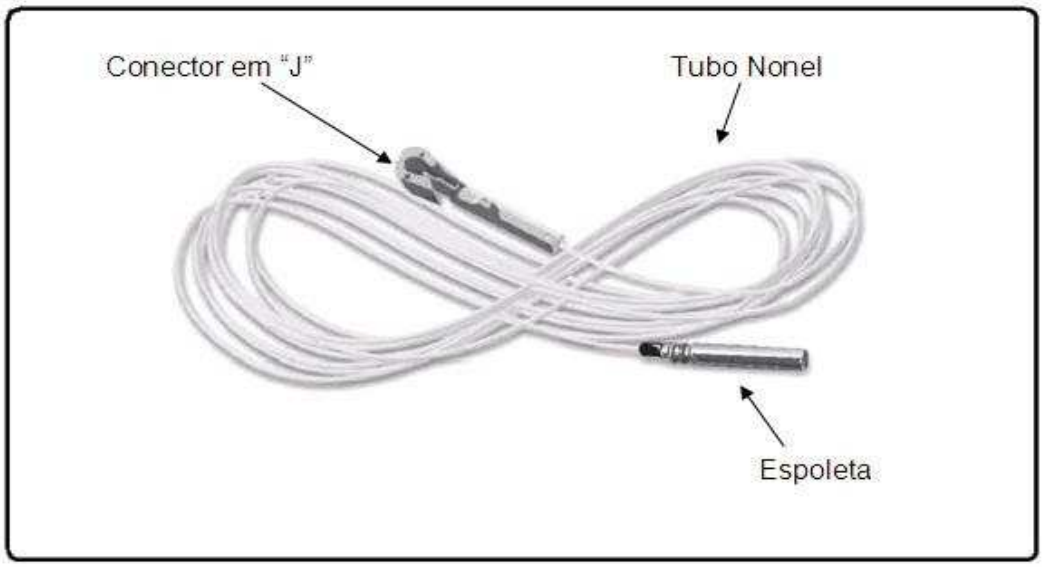


Fig 3-8. Sistema “NONEL”

e. Espoletim (Fig 3-9)

(1) Descrição

O Espoletim é um conjunto de espoleta comum Nr 8 e estopim hidráulico, perfeitamente amolgados, para acionamento de cargas explosivas. Também é conhecido como mantopim.

(2) Características gerais

(a) Cor interna do estopim: preta (Misto de pólvora negra).

(b) A velocidade média de combustão do espoletim pode variar de 100 s/m a 150 s/m.

(c) Embalagem: O estopim é distribuído em caixas que podem variar de acordo com o fabricante. Exp: IMBEL – caixa com 200 e 250 espoletins.

(3) Emprego

O espoletim é empregado também na iniciação isolada de fogos secundários ou ainda associado ao cordel detonante em uma rede secundária.

(4) Tipos

Pode ser fabricado com medidas pré-definidas ou conforme solicitação do interessado. A tabela 3-2 fornece um exemplo do espoletim distribuído pela IMBEL:

TIPOS	
Comprimento (cm)	**Tempo de queima (s)**
80	120
100	150
120	180
150	225

Obs: Conforme pedidos, o espoletim poderá ser fornecido em outros comprimentos. (200 cm / 250 cm / 300 cm)

Tab 3-2. Espoletins fabricados pela IMBEL

(5) Funcionamento e utilização

O espoletim pode ser iniciado por uma chispa de fogo obtida por meio de fósforo, isqueiro, outro estopim, acendedores regulamentares etc, tal como o estopim.

(6) Precauções

(a) Atentar para os mesmos cuidados de uma espoleta comum.

(b) Deve-se evitar torcimentos, dobras ou viradas bruscas que podem abrir o revestimento e causar quebras no rastilho de pólvora do estopim.

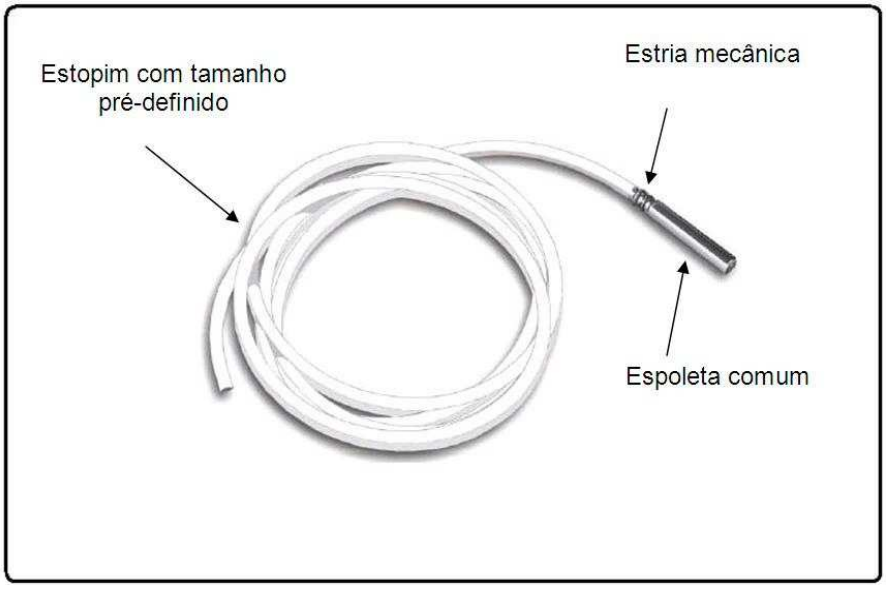


Fig 3-9.
Espoletim

g. Retardo para cordel detonante (Fig 3-10)

(1) Descrição

O retardo para cordel detonante permite que se obtenha uma diferença de tempo entre as sucessivas detonações.

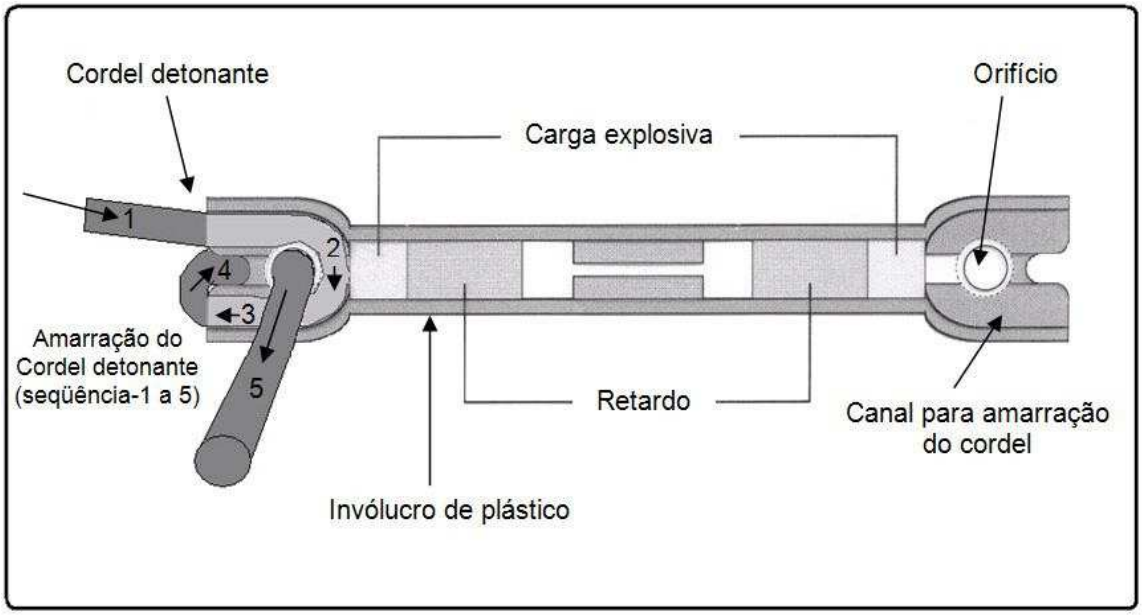


Fig 3-10. Retardo para cordel detonante

(2) Características gerais

(a) Normalmente é fabricado com o corpo de plástico que protege o dispositivo de retardo e permite a melhor fixação do cordel detonante.

(b) Embalagem

O retardo é distribuído em caixas que podem variar de acordo com o fabricante. Exp: IMBEL – caixa com 25 retardos.

(3) Emprego

Acessório de fundamental emprego para os trabalhos a céu aberto de desmonte e minerações. A sua utilização judiciosa permite escalonar os fogos em tempos determinados durante a detonação.

(4) Tipos

O retardo para cordel detonante varia de acordo com o tempo de retardo. A Tabela 3-3 fornece um exemplo dos retardos distribuído pela IMBEL.

Tipo (Tempo)	Cor	Tempo de retardo (milissegundos)
05	Azul Escuro	05 (± 01)
10	Verde	10 (± 02)
20	Amarelo	20 (± 04)
30	Laranja	30 (± 06)
40	Azul Claro	40 (± 08)
50	Vermelho	50 (± 10)
100	Branco	100 (± 20)

Tab 3-3. Tipos de retardos para cordel detonante fabricados pela IMBEL

(5) Funcionamento e utilização

O retardo é amarrado no cordel detonante seguindo a sequência mostrada na Fig 3-10.

(6) Precauções

(a) Deve-se assegurar o perfeito encaixe do cordel ao retardo para evitar falha na detonação.

(b) Se estocado em sua embalagem original, possui validade de 06 meses (IMBEL).

h. Reforçador (Booster) (Fig-3-11)

(1) Descrição

São reforçadores de alto poder explosivo, normalmente constituídos de Pentolite, em corpo plástico, que geralmente são utilizados para iniciar explosivos de baixa sensibilidade.

Fig 3-11. Reforçadores

(2) Características gerais

Normalmente é fabricado com o corpo de plástico que protege o explosivo e permite a melhor fixação do cordel detonante.

(3) Emprego

O reforçador é destinado a propiciar a iniciação de explosivos de baixa sensibilidade (ANFOs, emulsões, pastas, etc.). A sua concepção e forma permite que seja utilizado com o cordel detonante, detonadores não elétricos, espoletas comuns e elétricas.

(4) Tipos

Varia de acordo com o fabricante. A tabela 3-4 lista os tipos fabricados pela IMBEL.

Carga explosiva	150g	250g	350g	450g

Tab 3-4 – Tipos de Booster

(5) Funcionamento e utilização

O reforçador é provido de um furo axial, onde no momento do carregamento, é introduzido o cordel detonante ou espoleta.

(6) Precauções

(a) Deve-se assegurar o perfeito encaixe do cordel ao reforçador para evitar falha na detonação.

(b) Se estocado em sua embalagem original, possui validade de 02 anos (IMBEL).

i. Clipe para cordel detonante (Fig 3-12 e 3-13)

(1) Descrição

O clipe para cordel detonante é um acessório usado para prender entre si dois pedaços de cordel detonante, paralelos ou em ângulo reto, ou para prender uma espoleta ao cordel. Com um clipe se fará a união de dois pedaços de cordel muito mais rapidamente do que com a utilização de vários nós.

(2) Características gerais

O clipe M1 normalmente é produzido com aço galvanizado com a forma de metal laminado de 1 mm de espessura. O clipe plástico é fabricado em polietileno liso com 1 mm de espessura.

(3) Emprego

Utilizado para realizar emendas em cordel detonante.

(4) Tipos

Existem dois tipos de clipes para cordel detonante:

(a) Clipe M-1 (Metálico) (Fig 3-12)

Fig 3-12. Clipe M1

(b) Clipe plástico (Fig 3-13)

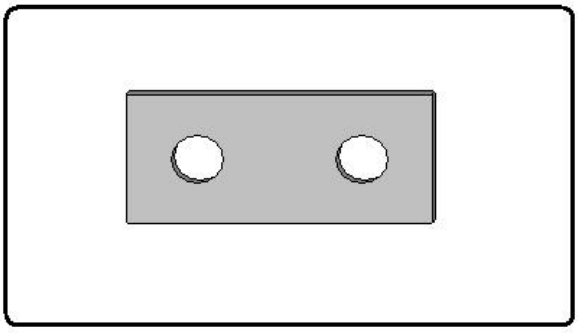


Fig 3-13. Clipe plástico

(5) Funcionamento e utilização

Serão descritos no Art III do Cap 4-3.

j. Acendedor

(1) Descrição

Os acendedores são empregados para facilitar o acendimento do estopim; são particularmente usados quando houver muito vento.

(2) Características gerais

Serão descritas no item (5) Funcionamento e utilização.

(3) Emprego

Utilizado no acendimento do estopim de um processo pirotécnico.

(4) Tipos

Existem dois tipos de acendedores:

(a) Acendedor M-1 (Fig 3-14); e

(b) Acendedor M-2 (Fig 3-15).

(5) Funcionamento e utilização

(a) Acendedor M-1 (Fig 3-14)

1) O acendedor de fricção M-1 é um tubo de papel contendo pólvora de fricção, que se inflama mecanicamente. Quando se introduz o estopim na extremidade do acendedor, ele fica ali retido por dentes existentes no interior do acendedor. Estes dentes têm uma inclinação que permite a fácil introdução do estopim; tal inclinação evita, porém, que se retire, novamente, o estopim do acendedor.

2) Utilização - um puxão na alça ou punho da extremidade fechada acende a pólvora de fricção, que leva o fogo ao rastilho de pólvora do estopim. Para evitar tração, em consequência da qual o acendedor seja desligado do estopim, ocasionando uma separação entre a extremidade do estopim e o acendedor, segura-se o tubo com uma das mãos e puxa-se o arame da ignição com a outra. Quando o comprimento do estopim permitir, depois de proceder a ignição do acendedor, retira-se do estopim para se certificar de que ele está queimando.

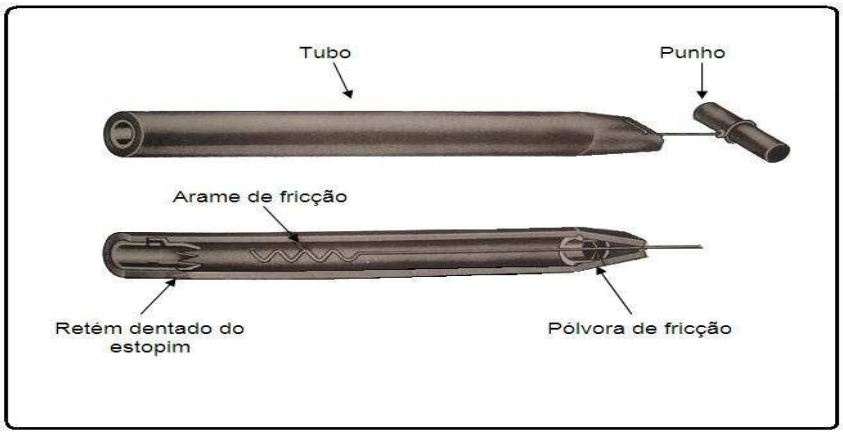


Fig 3-14. Acendedor de fricção M-1

(b) Acendedor M-2 (Fig 3-15)

1) Consiste de um cilindro oco que contém o percussor e a mola do percussor; um pino de tração retém o percussor em uma das extremidades do cilindro; a outra extremidade é rosqueada para se fixar à base. Na ligação da espoleta com o acendedor usa-se um material plástico para vedação à prova de água. Esse acendedor pode acender um estopim em qualquer condição de tempo, até mesmo sob a água.

2) Utilização: retira-se o pino de tração, dessa forma o percussor fere a espoleta de percussão que, por sua vez, acende o estopim.

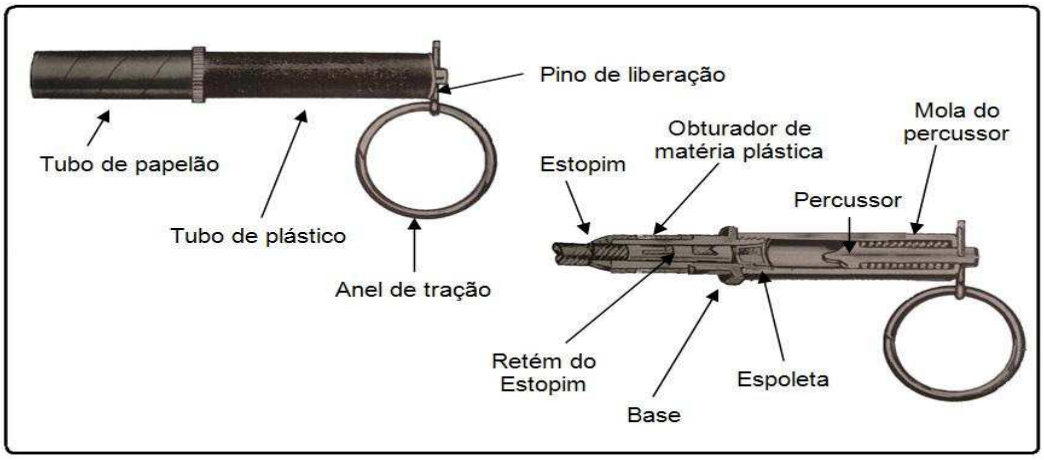


Fig 3-15. Acendedor M-2

(6) Precauções

Deve-se assegurar o perfeito encaixe do estopim ao acendedor para evitar falha na detonação.

l. Detonadores e acionadores

(1) Descrição

Os detonadores e acionadores foram criados para detonar cargas explosivas após um determinado período de retardo ou por alguma ação externa.

(2) Características gerais

O tempo de retardo pode variar com a temperatura ambiente, existindo tabelas para informar as variações.

(3) Emprego

Empregado nos mais diversos tipos de destruições, quando se requer um pequeno tempo de retardo para o acionamento de uma carga explosiva ou quando se deseja um acionamento por ação externa.

(4) Tipos

Podem ser:

(a) Retardo: varia de acordo com o tempo de retardo (8 seg, 15 seg

(b) Concussão: acionado pela onda de choque de uma explosão.

(c) Pressão: o acionamento é iniciado por pressão.

(d) Liberação: o acionamento é iniciado pelo relaxamento da tensão (corte fio tenso).

(e) Descompressão: a suspensão de um peso colocado sobre ele inicia a ação.

(f) Tração: acionado por meio de tração em um arame.

(5) Funcionamento e utilização

(a) Detonador de 15 segundos de retardo (Fig 3-16)

1) Este detonador pode ser usado em qualquer carga explosiva que tenha um orifício de escorvamento rosqueado, sempre que se desejar um retardo de 15 segundos. Ele consiste em um tipo de acionador de percussão combinado com um estopim de 15 segundos de queima e uma espoleta. É resistente à água e pode ser acionado dentro dela. A base do detonador é rosqueada, a fim de adaptar-se à rosca dos orifícios de escorva. Para proteger a espoleta durante o transporte há uma tampa protetora que a cobre inteiramente.

2) Utilização - para usar o detonador:

a) Remover o protetor da espoleta.

b) Introduzir o detonador no orifício rosqueado para a escorva existente na carga explosiva (caso o orifício não seja rosqueado, ele pode ser atado encostado a um cordel detonante).

c) Remover o pino de segurança no momento de lançar fogo.

d) Tracionar o anel do detonador de 15 segundos ou o grampo em T do detonador de 8 segundos.

e) **Atenção**: o rastilho de pólvora praticamente não emite fumaça quando queima

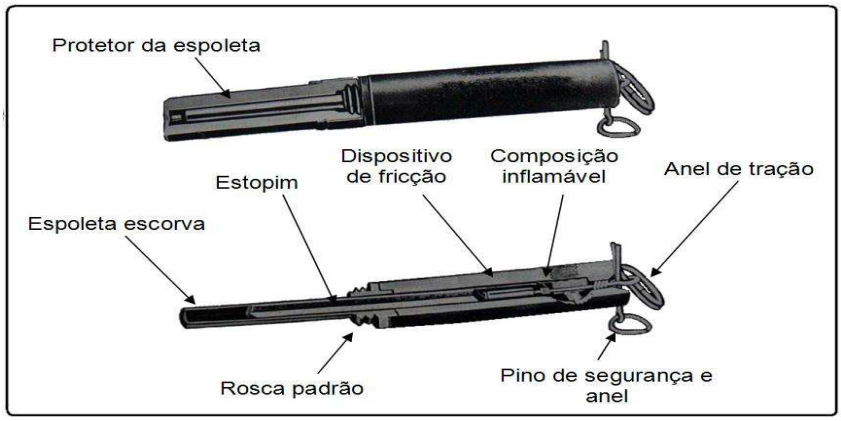


Fig 3-16. Detonador de 15 segundos de retardo

(b) Detonador de 8 segundos de retardo - este detonador é construído como detonador de 15 segundos, porém, é mais curto e contém um comprimento de estopim que dá, apenas, um retardo de 8 segundos. Também o grampo de tração tem um puxador em forma de T, em lugar de um anel.

(c) Detonador de concussão (Fig 3-17 e 3-18)

1) O detonador de concussão é um dispositivo mecânico acionado pela onda de concussão de uma escorva. O detonador consiste em um percussor comandado por um diafragma, mediante uma mola; o percussor é contido por uma esfera de segurança. A esfera é mantida contra o ressalto oblíquo do percussor por meio de um separador e um pino de segurança. Quando se puxa o pino de segurança, a mola de comando impele o percussor para frente. Isto faz com que a esfera e o separador se levantem, liberando o percussor. Uma onda de concussão, suficientemente forte para vencer a resistência do diafragma, faz funcionar o detonador.

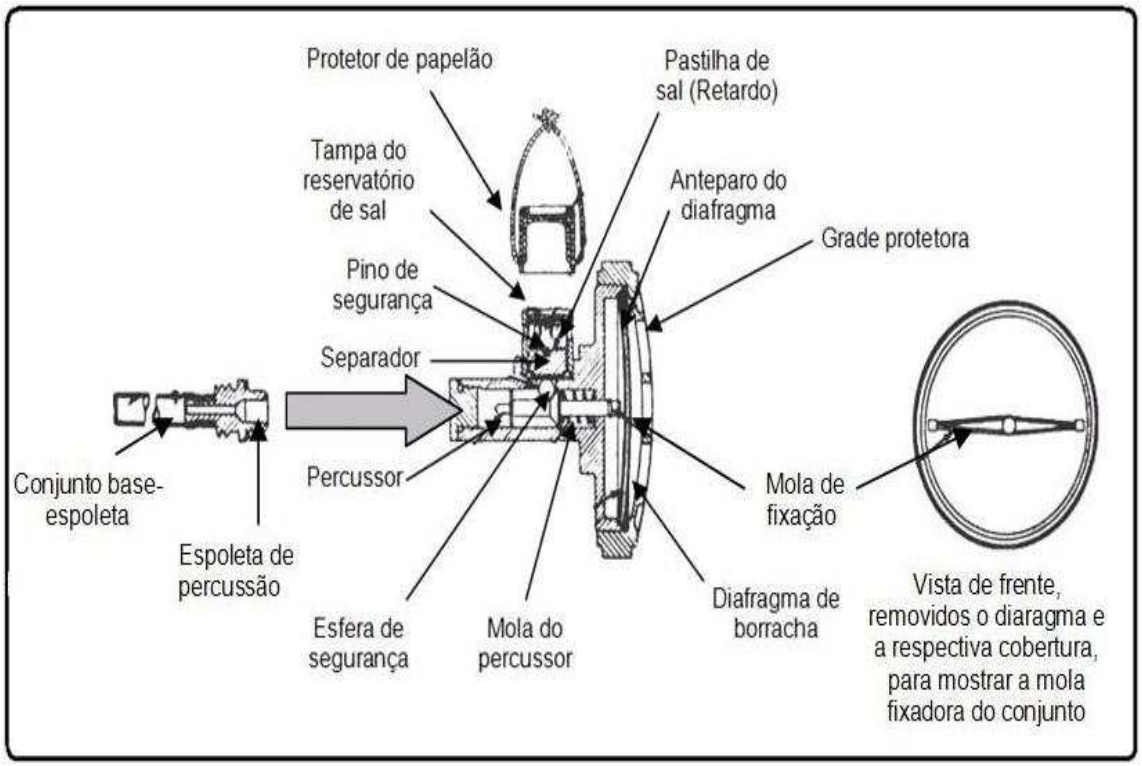


Fig 3-17. Detonador de concussão (vista detalhada)

2) Utilização - utilizado para detonar várias cargas simultaneamente, sem que haja necessidade de ligá-las entre si por um condutor elétrico ou um cordel detonante. Uma simples explosão na água ou no ar detonará todas as cargas equipadas com o detonador de concussão, dentro do raio de ação da carga principal
ou de qualquer outra. O raio de ação do detonador varia com o meio em que é empregado (água ou ar) e com o valor da carga (violência da explosão) utilizada para acioná-lo.

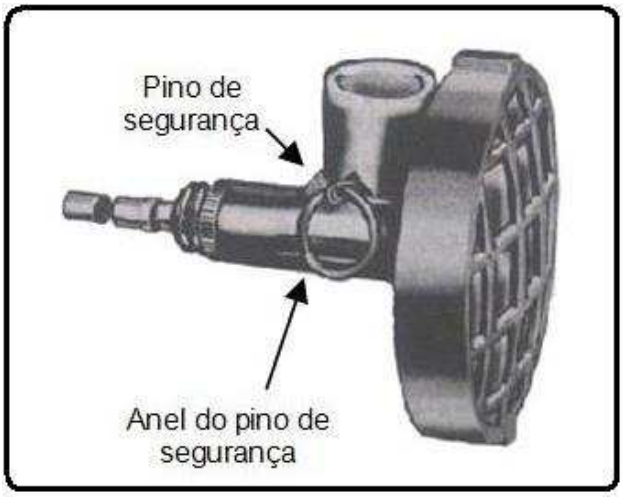


Fig 3-87. Detonador de concussão (vista geral)

(d) Acionador de retardo M-1

1) Descrição - os acionadores de retardo fornecem um retardo que pode variar de acordo com o tempo, dependendo do modelo e da temperatura. O tempo de retardo dos acionadores não é exato e eles não devem ser empregados

quando for indispensável um tempo de retardo exato. O acionador de retardo consiste em um tubo, contendo uma espoleta de percussão e um percussor, com mola, retido por um arame de retenção. Quando se quebra uma ampola que está dentro do tubo, o líquido corrosivo corta o arame de retenção e libera o percussor. Um orifício existente no tubo permite a inspeção para observar se o percussor caiu prematuramente. As roscas da base do tubo se adaptam às dos orifícios de escorvamento regulamentares. Uma fita de segurança, identificada pela cor, atravessa o tubo e evita o lançamento do fogo prematuro.

2) Utilização - o acionador pode ser usado quando se quer realizar uma detonação em que a precisão não é necessária, mas que se necessite saber o tempo provável da detonação. Exp: detonação com retardo de um dia. Para utilizá-lo basta seguir a seguinte sequência:

a) Consultar o quadro explicativo para encontrar a cor que dá o retardo desejado, na temperatura em que o acionador irá agir;

b) Escolher um acionador com a fita de segurança da cor determinada;

c) Observar ou passar um prego através do orifício de inspeção certificando-se de que o percussor não se desprendeu. Examinar também a parte que contém a ampola, para ver se ela ainda não foi quebrada;

d) Estriar uma espoleta comum regulamentar na base do acionador;

e) Introduzir a espoleta na carga ou, se estiver sendo usado o cordel detonante, ligar a este a espoleta por meio de fita isolante ou cadarço;

f) Esmagar a ampola com os dedos;

g) Inspecionar através do orifício, para ver se o percussor caiu. Caso ele tenha caído, abandonar o acionador, sem remover a fita de segurança; e

h) Retirar a fita de segurança e de identificação.

(e) Acionador de minas e armadilhas

A descrição e emprego dos acionadores para emprego nas minas e armadilhas são estudados no Manual de Campanha C 5-37 – MINAS E ARMADILHAS.

m. Adaptador de escorva (Fig 3-19)

(1) Descrição

O adaptador de escorva é uma peça fabricada normalmente com plástico que têm por finalidade simplificar o escorvamento dos explosivos militares.

(2) Características gerais

O adaptador de escorva consta de um cilindro de matéria plástica, com cerca de 2 cm de comprimento, 1,8 cm de diâmetro externo e 0,8 cm de diâmetro interno máximo. Numa das extremidades existe um engaste, cujo diâmetro interno é suficientemente grande para permitir a passagem do estopim ou cordel detonante, porém bastante pequeno para impedir que por ele passe a espoleta. A outra extremidade é rosqueada com 1,5 cm de rosca macho, que se adapta à rosca fêmea do orifício para escorva. O adaptador possui uma fenda longitudinal, de forma que os condutores de uma espoleta elétrica possam ser nele introduzidos fácil e rapidamente.

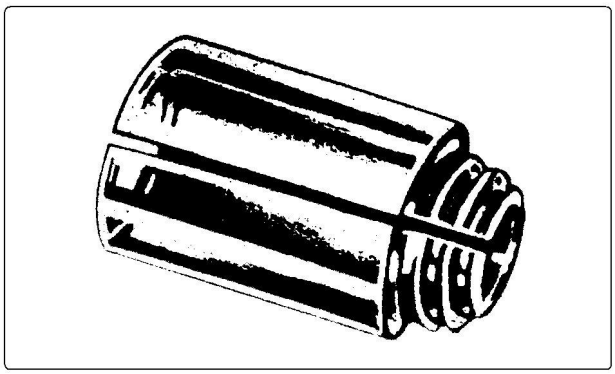


Fig 3-19. Adaptador de escorva M1 A3

3) Emprego

O adaptador de escorva pode ser emprega escorva de todas as detonações que utilizem explosivos que possuam orifícios rosqueados compatíveis com tamanho.

4) Tipos

Os adaptadores de escorva podem variar de acordo com o fabricante. Os modelos mais utilizados são o M1A3 e o M1A4.

(5) Funcionamento e utilização

Serão descritos no Art III do Cap 4-5.

n. Composição adesiva

(1) A composição adesiva é viscosa e pastosa, sendo distribuída em alguns equipamentos de destruição, para prender cargas em superfícies verticais ou na parte inferior de estruturas horizontais. Usa-se para prender as cargas enquanto elas são amarradas no local, ou, em certas condições, para prender cargas sem amarração. As cargas ficam retidas no local, de vários minutos até alguns dias, dependendo do tamanho e formas das cargas, bem como da superfície em que as mesmas ficam presas.

(2) Pode prender uma camada simples de petardos de explosivos na madeira, aço ou concreto, limpos, durante vários dias.

(3) Não adere satisfatoriamente às superfícies sujas, úmidas ou oleosas.

o. Composição para vedação de espoletas

Esta composição é usada para tornar à prova de umidade a ligação entre a espoleta comum e o estopim, bem como as escorvas de dinamite. Ela produz uma vedação permanente não se deve submergi-Ia, a não ser que se lance fogo à carga imediatamente. Quando se usam os acendedores M-2, a composição é desnecessária.

p. Barbante alcatroado e fita isolante

O barbante alcatroado e a fita isolante fazem parte dos equipamentos de destruição e destinam-se a ligar espoletas ao cordel detonante, isolar ligações, fixar cargas em seus lugares, amarrar ou unir petardos de explosivos, de modo a formarem um pacote compacto além de ligar espoletas às escorvas.

3. **EQUIPAMENTOS DE DESTRUIÇÃO**

a. Fios condutores e bobinas

(1) Descrição

O fio condutor para acionamento de cargas pelo processo elétrico consiste de um fio paralelo, normalmente com a alma composta de fios de cobre, revestidos por uma cobertura plástica ou de borracha. Estes fios são enrolados em bobinas que facilitam o transporte e a preparação do sistema elétrico para a explosão. O fio mais utilizado para esta finalidade é o Fio Duplo Telefônico (FDT).

(2) Emprego

Empregado nos mais diversos tipos de destruições utilizando-se do processo elétrico ou eletrônico.

(3) Bobinas (Fig 3-20)

(a) Bobina BOB-203 - esta bobina dispõe de um sistema de punhos, manivela e eixo e são empregadas duas correias para transportá-Ia. Tem 23 cm de diâmetro e 20 cm de largura, podendo conter até 300 metros de FDT. A extremidade fixa do condutor sai da bobina por um orifício no tambor e é presa ao lado. Os suportes são duas peças de aço dobradas em U. Uma alça, em cada extremidade, envolve um mancal que consiste de um alojamento de latão contendo um centro de aço para receber o eixo. O eixo é de seção quadrada de 0,8 cm de lado. Numa das extremidades está rebitada a manivela e, perto da outra extremidade, há um orifício que recebe um contrapino, o qual prende o eixo em seu lugar.

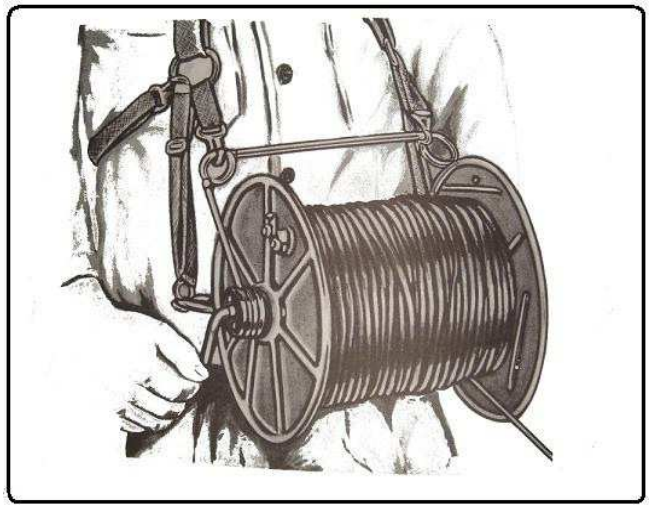


Fig 3-20. Bobina (BOB-203)

(b) Outras bobinas - pode-se utilizar outros tipos de bobinas existentes no Exército Brasileiro com a mesma finalidade.

b. Galvanômetro e Ohmímetros

(1) Descrição

Este instrumento é de capital importância no emprego da detonação elétrica. Permite a prova das espoletas elétricas, a fim de verificar se um circuito está fechado e em condições adequadas para a detonação, a localização de fios partidos, ligações defeituosas, terras e curtos-circuitos, bem como a determinação da resistência aproximada de um circuito.

(2) Emprego

Empregado nos mais diversos tipos de destruições utilizando-se do processo elétrico.

(3) Tipos e Modelos

(a) Galvanômetro:

- Galvanômetro M1(Fig 3-21).

(b) Ohmímetro:

1) Ohmímetro de segurança AEE (Fig 3-22); e
2) Ohmímetro REO BO 1999-1 (Fig 3-23).

(4) Funcionamento e utilização

(a) Cada equipamento tem sua peculiaridade quanto ao uso. Porém alguns conceitos são comuns a todos. Para calcular o valor de cada série, multiplica-se o valor da resistência de cada espoleta pelo número de espoletas ligadas e soma-se a resistência dos fios de ligação.

(b) Na realização dos testes no circuito pode-se chegar aos seguintes dados:

1) Circuito perfeito - o valor medido será próximo do calculado (±10%);
2) Circuito em “curto" - o valor medido estará abaixo do calculado;
3) Ligação mal feita - o valor estará acima do calculado; e
4) Circuito aberto - o valor medido tenderá ao infinito.

(c) Descrição pelos modelos

(1) Galvanômetro (Fig 3-21)

a) Este galvanômetro contém um eletromagneto, uma pequena pilha seca especial, de cloreto de prata, uma escala e uma agulha indicadora. Quando os dois bornes estão ligados a um circuito o fluxo da corrente originada na pilha seca faz com que a agulha se movimente sobre a escala. A deflexão da agulha vai depender da resistência existente no circuito fechado e da força eletromotriz da pilha. Deve-se conservar seco o galvanômetro e manejá-lo com cuidado.

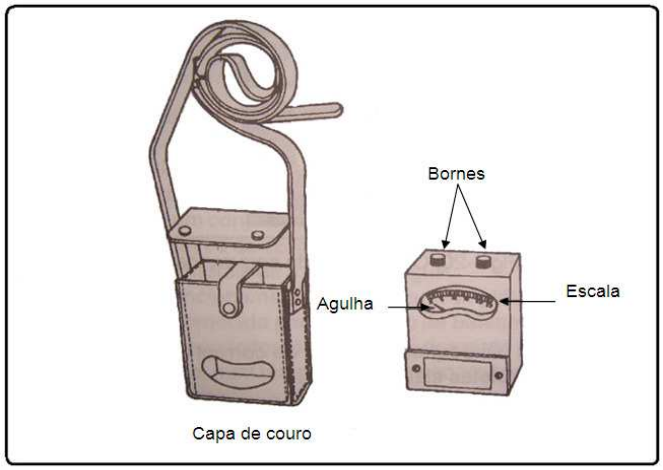


Fig 3-21 – Galvanômetro M1

b) Utilização - antes de usá-lo, deve-se verificar o seu perfeito funcionamento por intermédio de uma peça de metal, ligada aos seus dois bornes. Caso esta operação não provoque uma violenta deflexão na agulha, a pilha está fraca, devendo ser substituída. Devem-se usar somente pilhas apropriadas para cada modelo, porque outras podem ser bastante fortes para provocar a detonação de uma espoleta. O galvanômetro é delicado e não se deve desmontá-lo ou abrí-lo,

exceto para substituir uma pilha fraca. As pilhas secas tendem a congelar e podem deixar de funcionar em temperaturas abaixo de -18° C. Quando se usa o galvanômetro em climas frios ele deve ser protegido do congelamento, colocando-o próximo ao corpo, debaixo da roupa.

2) Ohmímetro

a) Definição

O Ohmímetro é utilizado para verificar a continuidade de um circuito elétrico. Permite determinar a resistência total do circuito a detonar ou de cada espoleta.

b) Ohmímetro de segurança “AEE” (Fig 3-22)

Características:

- Alimentação: 4 pilhas de 1,5 V, ligadas em série;
- Precisão: 3%; e
- Peso: 800 gramas (com as pilhas). c)

Ohmímetro REO BO 1999-1 (Fig 3-23)

Características:
- Alimentação: 1 bateria 9V;
- Precisão:+/- 0,1 Ohm; e
- Peso: 200g (com bateria).

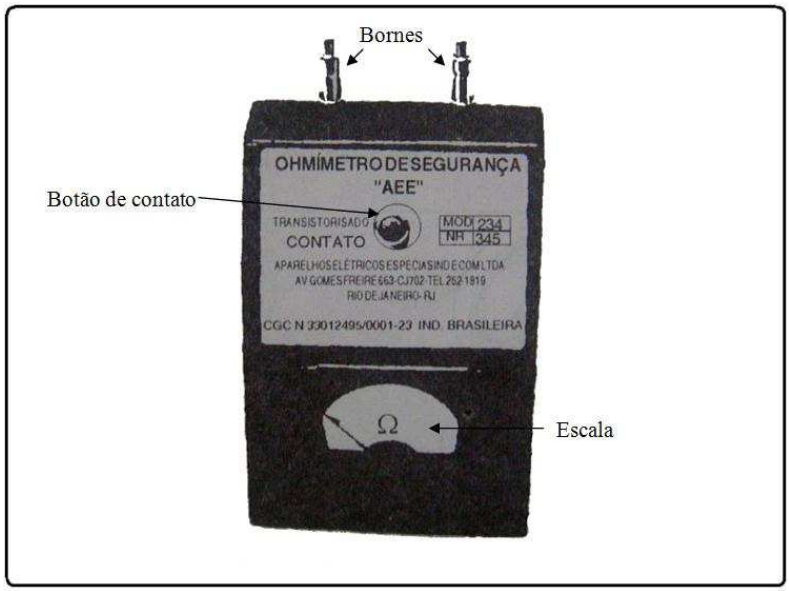


Fig 3-22. Ohmímetro de segurança “AEE”

Fig 3-23. Ohmímetro REO BO 1999-1

c. Explosores

(1) Descrição

O explosor é um pequeno gerador de corrente elétrica para o lançamento de fogo às espoletas elétricas, eletrônicas ou ao sistema “NONEL”.

(2) Emprego

Empregado nos mais diversos tipos de destruições utilizando-se do processo elétrico ou “NONEL”.

(3) Tipos e Modelos

Existem diversos modelos disponíveis, porém os mais encontrados são os abaixo descritos:

(a) Tipos e modelos

1) Acionamento mecânico (sistema elétrico):

a) Explosor para 10 espoletas (Fig 3-24);

b) Explosor para 50 espoletas (Fig 3-25); e

c) Explosor M34 50-Cap (Fig 3-26).

2) Acionamento eletrônico (sistema elétrico):

a) Explosor REO CD-450J (Fig 3-27); e

b) Explosor DIGIBLAST (Fig 3-28).

3) Acionamento do sistema “NONEL”:

- Explosor DYNOSTART 1 (Fig 3-29).

(4) Funcionamento e utilização

Cada equipamento tem sua peculiaridade quanto ao uso. A seguir estão descritas a utilização dos principais explosores disponíveis.

(a) Explosor para 10 espoletas (Fig 3-24)

1) Este explosor é encontrado nos equipamentos de destruição dos grupos e pelotões. Quando manejado corretamente ele aciona 10 espoletas elétricas ligadas em série. Ao empregá-lo deve-se assegurar-se de que os terminais dos condutores estão perfeitamente ligados. Introduzir então a manivela. Introduzir a mão esquerda pela correia e segurar firmemente o explosor pelo fundo, conforme

indica a Fig 3-24. Com as costas da mão direita voltada para o corpo, segurar o punho e dar um giro tão forte quanto possível, no sentido do movimento dos ponteiros do relógio. Assegurar-se de que o aparelho está funcionando perfeitamente; para isso, experimentá-lo várias vezes, antes de ligar os condutores.

2) Características:

a) Alimentação: acionamento mecânico;

b) Energia gerada: 1,5 A em 10 ms (Circuito Max: 35 Ohm);

c) Capacidade: 10 espoletas em série; e

d) Peso: 2,72 kg.

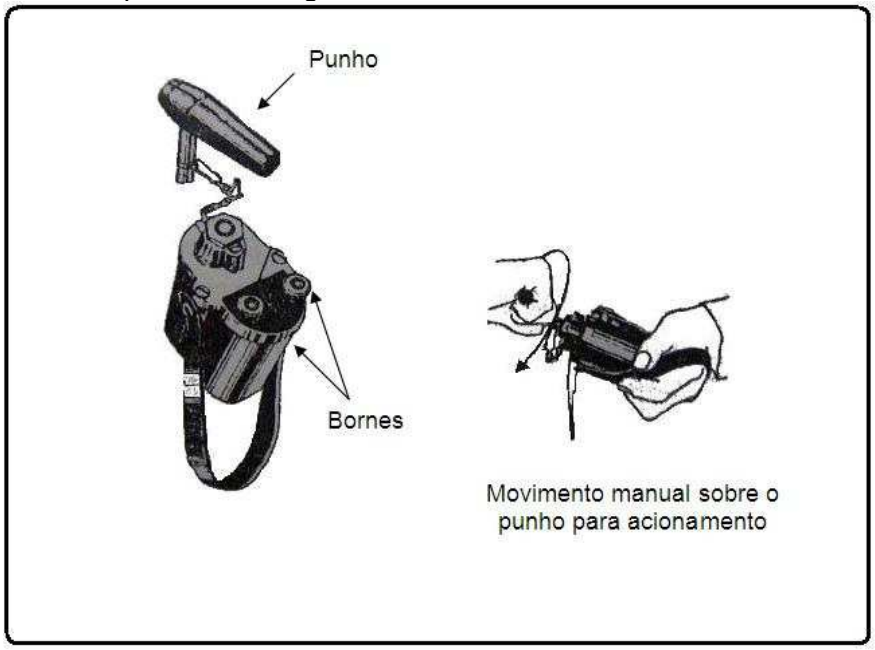


Fig 3-23. Explosor para 10 espoletas

(b) Explosor para 50 espoletas (Fig 3-25)

1) Para manejá-lo, levantar o punho até o fim e depois empurrá-lo rápida e fortemente para baixo.

2) Características:

a) Alimentação: acionamento mecânico;

b) Energia gerada: 1,5 A em 10 ms (Circuito Max: 240 Ohm);

c) Capacidade: 50 espoletas em série; e

d) Peso: 10 kg.

Fig 3-25. Explosor 50 espoletas

(c) Explosor M34 50-Cap C (Fig 3-26)

1) É um explosor, de origem americana, pequeno e leve, que produz

corrente adequada para iniciar 50 espoletas em série.

2) Características:

- Alimentação: acionamento mecânico;
- Energia gerada: 1,5 A em 1,5 ms (Circuito Max: 150 Ohm);
- Capacidade: 50 espoletas em série; e
- Peso: 0,4 kg.

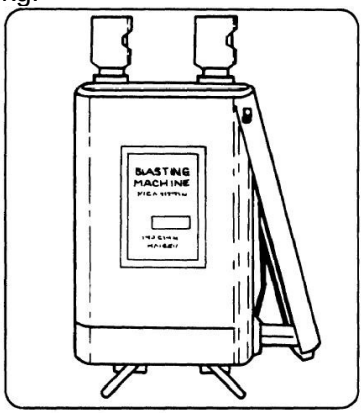


Fig 3-26. Explosor M34-50 Cap

(d) Explosor REO CD-450J (Fig 3-27)

1) É um explosor, de origem americana, pequeno e leve que produz corrente adequada para iniciar 65 espoletas em série.

2) Características:

- Alimentação: 1 bateria 9V;
- Energia gerada: 450 V / 4 Joules;
- Capacidade: 65 espoletas em série; e
- Peso: 0,30 kg.

Fig 3-27. Explosor REO CD-450J

(e) Explosor eletrônico DIGIBLAST (Fig 3-28)

1) É utilizado na detonação de circuitos de espoletas elétricas ou dispositivos semelhantes. Tem um conjunto de baterias de níquel-cádmio para carregar os condensadores, chaves de comutação, resistores e fios de ligação, sendo encerrados em caixas metálicas à prova de água. Seu funcionamento é baseado na amplificação de uma corrente de baixo potencial (fornecida por intermédio de baterias de níquel-cádmio), retificação, cargas em capacitores e posterior descarga comum no circuito a detonar, proporcionando, elevada energia no filamento de cada espoleta. Seu manejo é fácil e apresenta grandes vantagens em relação ao explosor de acionador mecânico.

2) Características

- Alimentação: 3 baterias de níquel-cádmio.
- Energia gerada: não disponível.
- Capacidade: 50 espoletas em série (cada circuito).
- Peso: ± 2 kg.

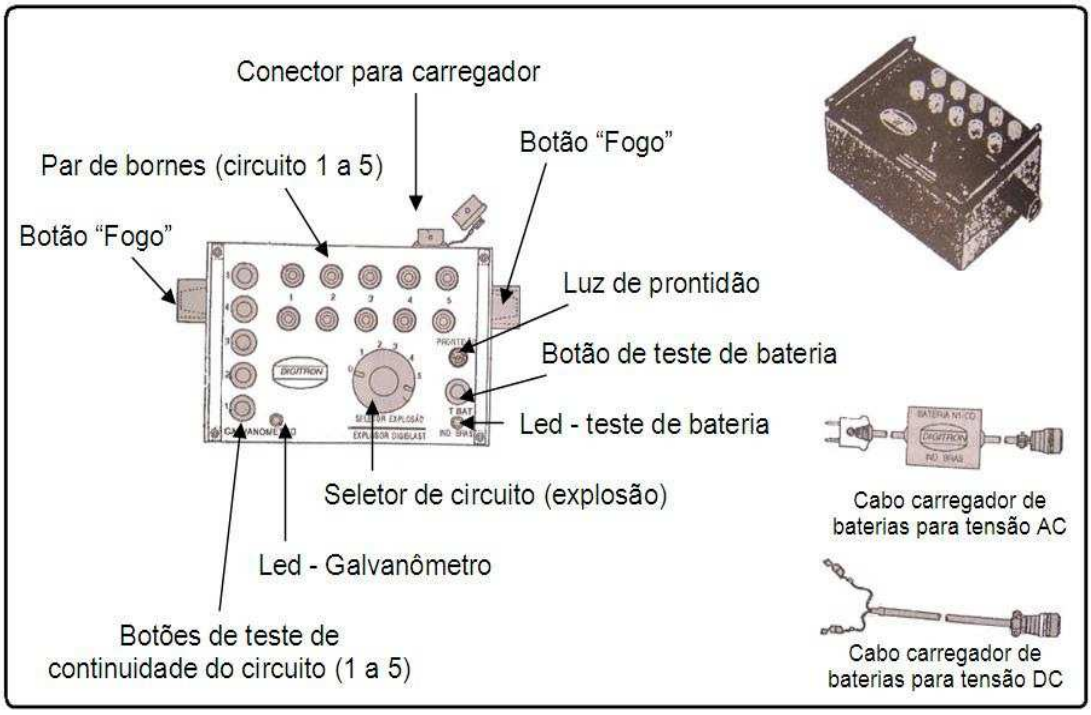

Conector para carregador
Botão "Fogo"
Par de bornes (circuito 1 a 5)
Botão "Fogo"
Luz de prontidão
Botão de teste de bateria
Led - teste de bateria
Seletor de circuito (explosão)
Led - Galvanômetro
Botões de teste de continuidade do circuito (1 a 5)
Cabo carregador de baterias para tensão AC
Cabo carregador de baterias para tensão DC

Fig 3-28. Explosor DIGIBLAST

(f) Explosores para "NONEL" (Fig 3-29)

É utilizado na detonação do sistema "NONEL". Possui um sistema interno que permite dar início ao tubo de choque do sistema "NONEL". Para realizar a conexão do local da explosão até o responsável pela detonação utiliza-se uma bobina de tubo "NONEL" de grande distância (Exp: 750 m). Seu manejo é semelhante aos dos explosores de acionamento eletrônico.

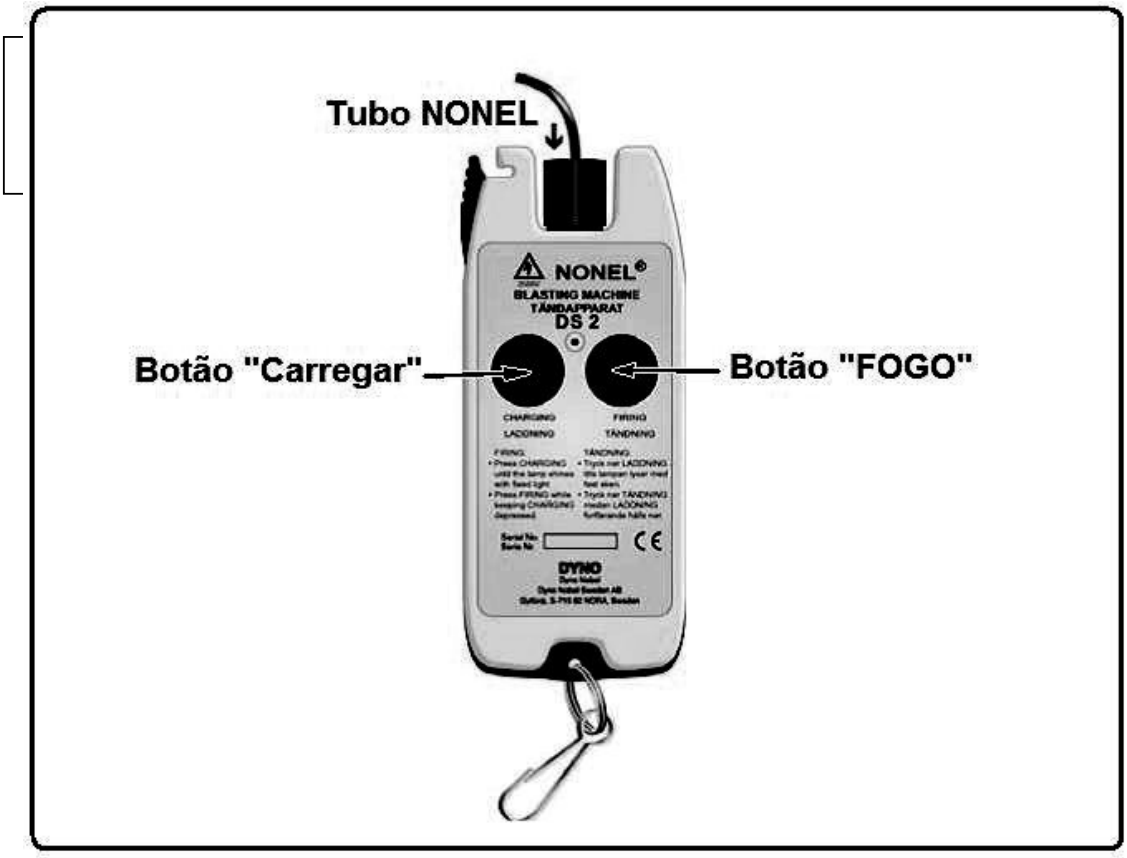


Fig 3-29. Exemplo de um explosor para “NONEL”

(5) Precaução na utilização

(a) Os explosores eletrônicos de energia elevada podem causar graves danos e até mesmo a morte do operador em determinadas circunstâncias, se impropriamente manejados. Conserve-o limpo e seco.

(b) Nunca detonar a carga antes de acender a lâmpada indicadora. A energia poderá não ser suficiente, ocasionando falhas.

(c) Só fazer a ligação do circuito ao explosor depois de dado o sinal de fogo, já com a área de segurança devidamente desimpedida. Esta norma deve ser obedecida para qualquer tipo de explosor, de qualquer procedência.

(d) Não permitir que pontas descobertas do circuito entrem em contato com fios, arames, trilhos, canos, fios elétricos, solo úmido ou qualquer parte em que seja possível a entrada ou perda de corrente.

(e) Não deixar em exposição ao sol.

ATENÇÃO

Os explosores listados neste capítulo não são adequados para acionar cargas de circuitos em **paralelo**.

4. EQUIPAMENTOS PARA COLOCAÇÃO DAS CARGAS

a. Escavadeiras manuais

(1) Descrição

As escavadeiras manuais ou mecânicas servem para cavar os orifícios destinados às cargas, na abertura de crateras e na destruição de encontros de pontes. A velocidade de escavação depende, sobretudo, da qualidade do terreno;

ela é muito mais rápida nas terras de fraca consistência. As escavadeiras trabalham satisfatoriamente na argila ou no pedregulho não compacto; elas não poderão ser empregadas em terreno onde houver muita pedra.

(2) Emprego

Empregado nos trabalhos de abertura de crateras, rampas, abrigos e espaldões.

(3) Tipos (Fig 3-30)

(a) Escavadeira americana - possui uma haste extensível que permite fazer furos de até 2,40 m de profundidade. Sua abertura é ajustável para possibilitar a abertura de buracos de 20 cm a 35 cm de diâmetro, possibilitando a colocação das cargas de 18 kg de nitrato de amônio ou outras semelhantes.

(b) Escavadeira boca de lobo - permite fazer buracos de abertura a profundidades variáveis. Seu comprimento mais comum é de 1,50 m e pesa 2,5 kg.

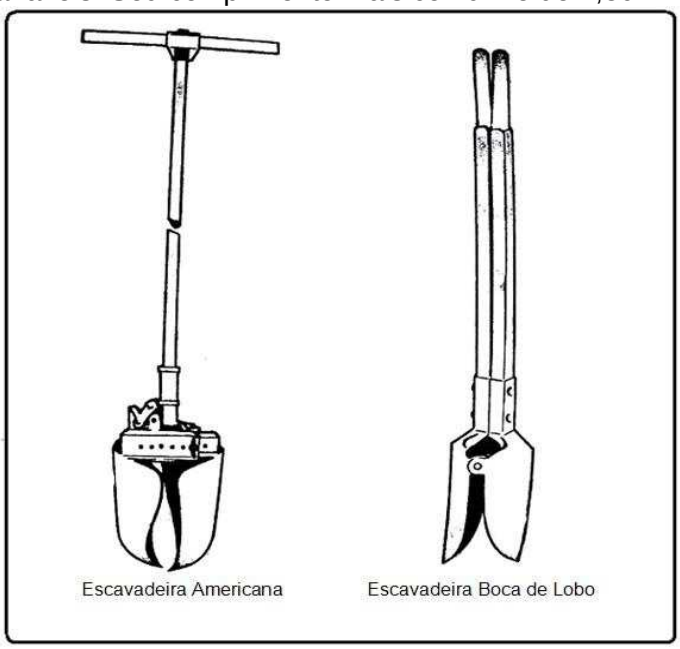


Fig 3-30. Escavadeiras manuais

b. Perfuratriz (Fig 3-31 a 3-38)

(1) Descrição

As perfuratrizes servem para cavar os orifícios destinados às cargas explosivas.

(2) Emprego

Empregado nos trabalhos de abertura de crateras, rampas, abrigos e espaldões, destruição de encontros de pontes etc.

(3) Tipos

(a) Perfuratriz hidráulica - acionada hidraulicamente através de motor, acoplado à caixa redutora (Fig 3-31). Possui velocidade variável e duplo sentido de rotação. Por intermédio de uma broca helicoidal de 35 cm ou 50 cm de diâmetro, acoplada à flange de saída, permite perfurações de até 2 m ou 3 m de profundidade respectivamente. É um acessório de determinados equipamentos (Exp: trator multiuso, retroescavadeira etc.).

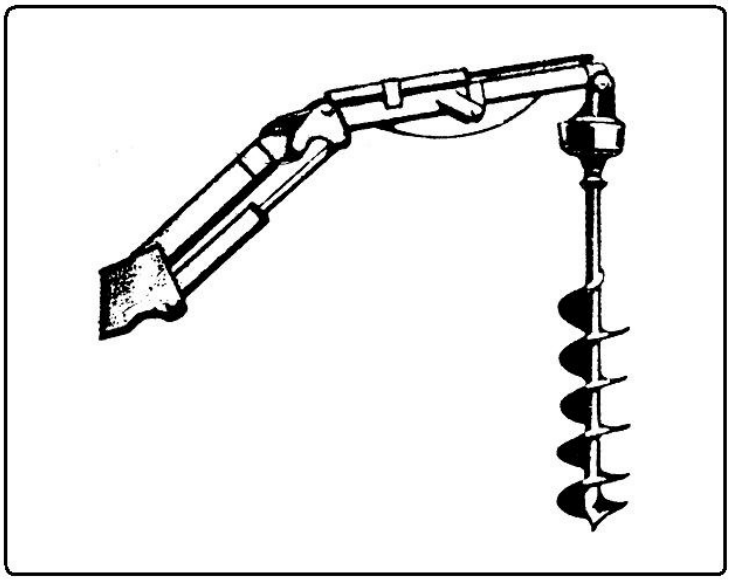


Fig 3-31. Perfuratriz hidráulica

(b) Perfuratrizes pneumáticas - as ferramentas pneumáticas, trabalhando pela ação do ar comprimido, fornecido por um compressor de ar, são empregadas nos mais variados trabalhos de destruição.

1) Martelete rompedor de pavimentação (Fig 3-37) - usado para romper superfície de asfalto, concreto e alvenaria, possibilitando posterior perfuração do solo para a colocação de cargas para abertura de crateras.

2) Máquina de furar madeira - possuindo uma broca de 5 cm de diâmetro, é utilizada para furar madeira, possibilitando a colocação de cargas internas.

3) Perfuratriz de rocha (Fig 3-32 a 3-36) - usada para perfurar rochas para trabalhos de desmonte de rocha com explosivos.

Fig 3-32. Perfuratriz manual

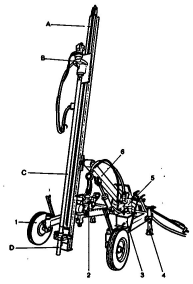


Fig 3-33. Perfuratriz de carreta (Bencher)

Fig 3-34. Perfuratriz de carreta (Wagon drill)

Fig 3-35. Perfuratriz sobre trator

Fig 3-36. Conjunto de perfuração

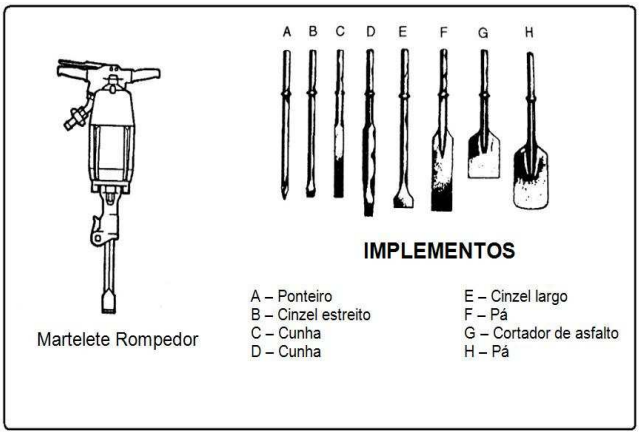


Fig 3-37. Martelete rompedor de pavimentação

(c) Perfuratriz a motor (Fig 3-38) - pode fazer perfurações de 20 cm, 30 cm, 50 cm e 60 cm de diâmetro, a uma profundidade de até 2,70 m.

Fig 3-38. Perfuratriz a motor

c. Alicate de estriar

(1) Descrição

O alicate de estriar destina-se a apertar a parte vazia da espoleta comum, de encontro ao estopim e ao cordel detonante que está em seu interior, o suficiente para evitar que ela seja arrancada facilmente e não tanto que venha a impedir a queima do rastilho de pólvora do estopim.

(2) Emprego

Empregado na preparação das cargas para o acionamento pirotécnico.

(3) Tipos

(a) Alicate de estriar M-1.

(b) Alicate de estriar M-2 (Fig 3-39).

(4) Funcionamento e utilização

(a) As mandíbulas de estriar têm a parte posterior arredondada e afiada, para cortar o estopim; uma das pernas tem a extremidade pontuda (punção), para fazer buracos nos cartuchos de dinamite, a fim de introduzir as espoletas de escorva. A outra perna tem a extremidade em forma de chave de fenda.

(b) O alicate de estriar M-2 tem uma mandíbula apertada, que faz uma estria completa em torno da espoleta, tornando a conexão resistente à água. Os antigos modelos de alicates de estriar (Modelo M-1) tinham o estriador alargado de tal forma que dava origem a uma espécie de manga no ponto em que procedia à estria. Por esta espécie de manga podia entrar a água inutilizando o dispositivo.

(5) Precauções

(a) Todo alicate de estriar deve ser construído de tal forma que as mandíbulas não possam fechar além do ponto em que comecem a prejudicar a espoleta ou o estopim.

(b) As mandíbulas cortantes devem ser conservadas limpas e só devem ser usadas para cortar o estopim ou cordel. Não se deve usar o alicate de estriar como alicate comum.

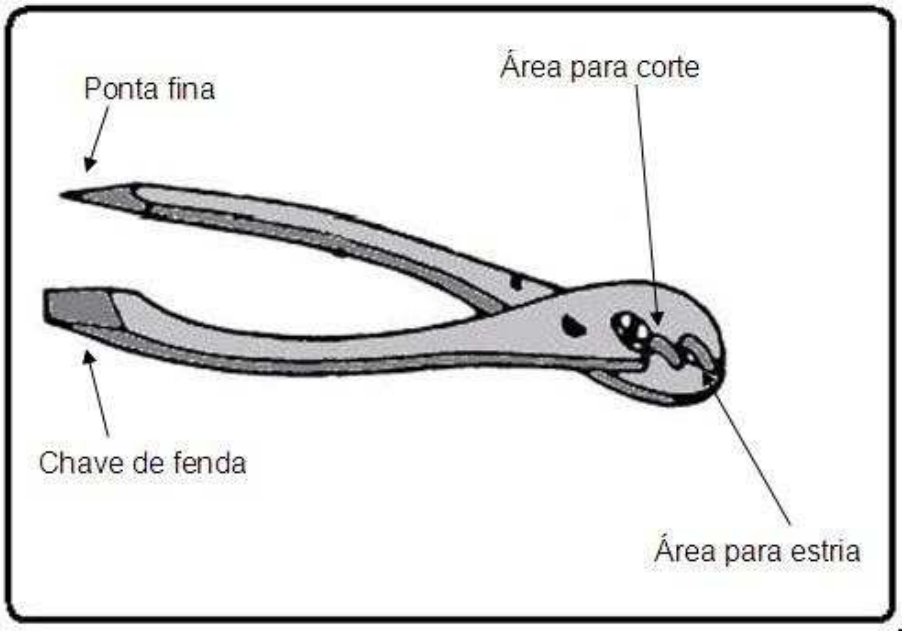


Fig 3-39. Alicate de estriar M-2

Conteúdo extraído dos seguintes manuais:

- BRASIL. Estado-Maior do Exército. **C 5-25: Explosivos e destruições**. 2ª Ed. Brasília: EGGCF, 1991.
- BRASIL. Estado-Maior do Exército. **C 5-34: Vade-Mécum de Engenharia**. 3ª Ed. Brasília: EGGCF, 1996.
- BRASIL. Estado-Maior do Exército. **T 9-1903: Armazenamento, conservação, transporte e destruição de munições, explosivos e artifícios**. 1ª Ed. Brasília: EGGCF, 1970.
- BRASIL. Diretoria de Material de Engenharia. **Boletim Técnico Especial Nr 4: Normas de emprego e manuseio de cargas explosivas e dispositivos acionadores**. Brasília, 1983.
- BRASIL. Academia Militar das Agulhas Negras. **Apostila de explosivos e destruições do Curso Avançado**. Editora acadêmica.
- BRASIL. Academia Militar das Agulhas Negras. **Vade-Mécum de OT do Curso de Engenharia**. Editora Acadêmica.
- BRASIL. Academia Militar das Agulhas Negras. **Apostila de Explosivos e destruições do Curso de Engenharia**. Editora acadêmica.
- ATHAYDE, ALCIO AUGUSTO CARPES. **Instruções sobre desmonte de rocha no Instituto Militar de Engenharia**. Instituto Militar de Engenharia, 2008.

CAPÍTULO 4
SISTEMA DE LANÇAMENTO DE FOGO E PREPARAÇÃO DE CARGAS

ATENÇÃO

Consulte aos procedimentos de segurança no capítulo 9 antes de empreender qualquer missão que utilize explosivos.

1. PROCESSO PIROTÉCNICO DE LANÇAMENTO DE FOGO

a. Generalidades

Chama-se processo pirotécnico de lançamento de fogo, aquele em que a carga ou cargas explosivas são acionadas por meio de um escorvamento pirotécnico.

b. Conjunto dos componentes

Um processo pirotécnico usa uma espoleta comum como iniciador. O processo de iniciação consiste em um dispositivo de ignição do estopim (produz fogo que inicia o estopim), um estopim (transmite a chama que inicia a espoleta), e uma espoleta comum (fornece energia adequada para detonar o explosivo) (Fig 4-1). Quando combinado com o cordel detonante, um único processo de iniciação pode iniciar várias cargas ao mesmo tempo.

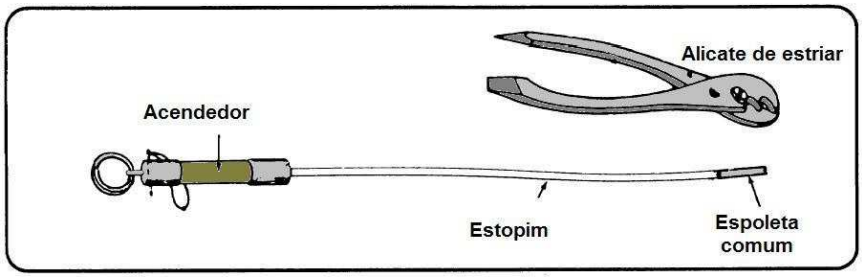


Fig 4-1. Componentes do processo pirotécnico

c. Sequência da preparação

Não preparação de destruições utilizando um processo pirotécnico, deve-se seguir uma lista de etapas especificadas. Este processo inclui:

Etapa 1 - Verificar o tempo de queima.

Etapa 2 - Preparar o estopim.

Etapa 3 - Colocar um dispositivo de ignição do estopim.

Etapa 4 - Conectar a espoleta comum.

Etapa 5 - Conectar a carga explosiva.

Etapa 6 – Detonar a carga.

d. Descrição das etapas

(1) Etapa 1 - Verificar o tempo de queima

(a) Primeiramente cortar com alicate de estriar um estopim, descartando aproximadamente 20 cm (um palmo) de sua extremidade. As extremidades do estopim quando expostas ao ar livre, por mais de 24 horas, absorvem umidade (Fig

4-2).

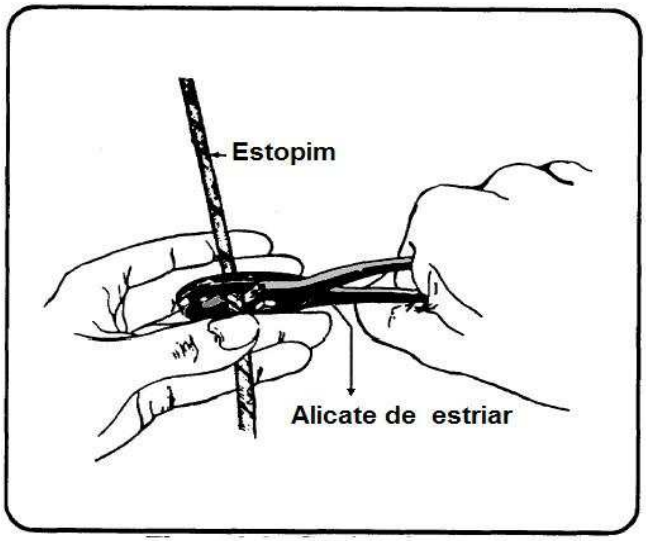


Fig 4-2. Cortando o estopim

(b) Separe um metro de estopim para verificar o tempo de queima. Acenda o estopim e verifique o tempo necessário para queimá-lo totalmente (Fig 4-3) (o início e o término da queima se caracterizam pelo jato de fogo que sai da extremidade do estopim). A taxa de queima deverá estar entre 120 e 150 segundos por metro de estopim.

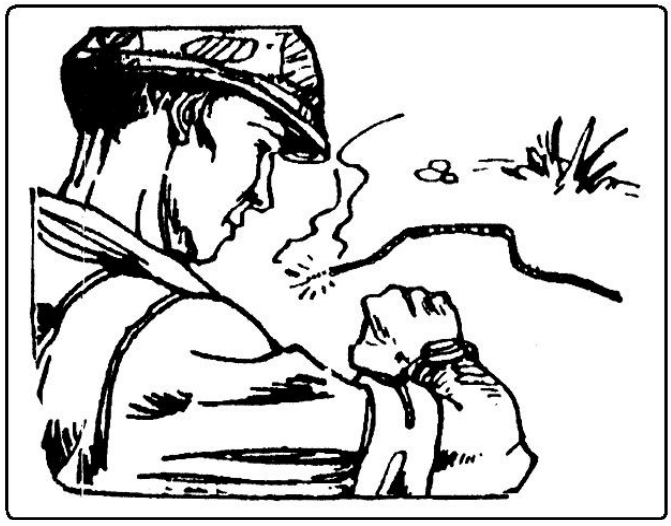


Fig 4-3. Verificando o tempo de queima do estopim

(c) Teste cada bobina do estopim, ou resto de uma bobina, utilizando o teste de queima antes de seu uso. Um teste por dia para cada bobina é suficiente.

(2) Etapa 2 - Preparar o estopim

(a) Corte o estopim do tamanho suficiente para permitir que o responsável pelo acionamento alcance a área de segurança (caminhando em um ritmo normal) antes da explosão. Ande e cronometre esta distância previamente para dimensionar o estopim.

(b) A fórmula para determinar o comprimento do estopim é:

$$\textbf{Tamanho do estopim} = \frac{\text{Tempo de deslocamento para a área de segurança (s)}}{\text{Taxa de queima (s/m)}}$$

(c) Exemplo:

1) Dados:

a) Tempo de deslocamento para a área de segurança: 3min=180 s.

b) Taxa de queima: 152 s/m.

2) Pedido:

Determine o tamanho do estopim.

3) Resposta:

$$\text{Tamanho do estopim} = \frac{80\ s}{52\ s/m} = \textbf{0,18 m}$$

(d) O estopim deve ser cortado segundo sua seção reta (Fig 4-4). Se o cortador do alicate de estriar não o fizer, usar o canivete para cortá-lo. Apoiar o estopim contra uma superfície sólida, para se assegurar de que ele será cortado corretamente. Um estopim mal cortado, inserido em uma espoleta pode provocar uma falha.

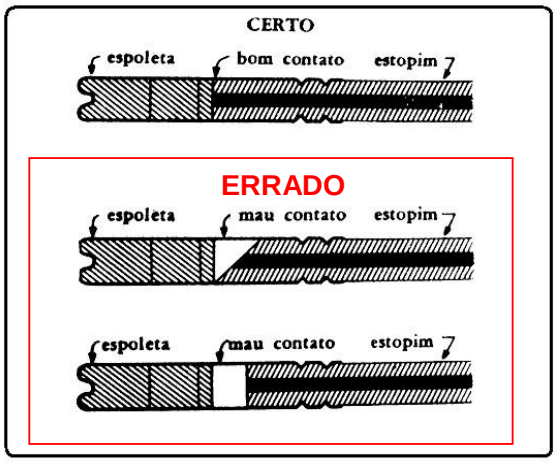


Fig 4-4. Como cortar o estopim

(3) Etapa 3 - Colocar um dispositivo de ignição do estopim

(a) Para inflamar o estopim pode-se usar os acendedores de fricção descritos no Capitulo 3. Basta introduzi-los na extremidade do estopim.

(b) Caso não se disponha de acendedor de fricção, pode-se utilizar um fósforo. Para prepará-lo, basta abrir uma ranhura no mesmo e colocar a cabeça do fósforo em contato com o rastilho de pólvora. A cabeça de fósforo é deixada ligeiramente para fora; acender com auxílio de outro ou esfregando a lixa de uma caixa de fósforos sobre a citada cabeça (Fig 4-5).

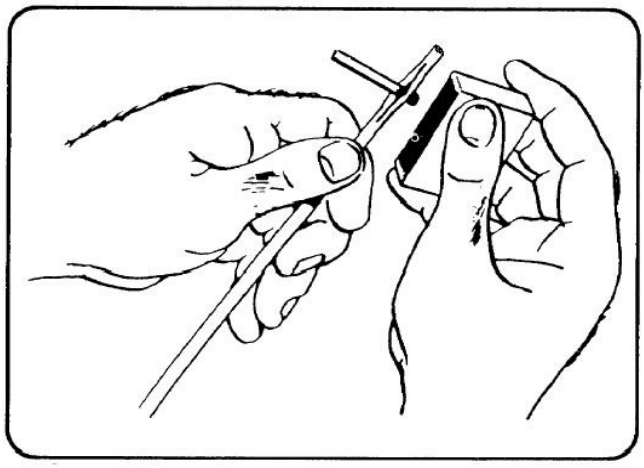


Fig 4-5. Acendendo o estopim com fósforo

(4) Etapa 4 - Conectar a espoleta comum

(a) Inspeção da espoleta

1) Retirar, com a mão, uma espoleta da caixa. Inspecionar a espoleta, olhando pelo seu orifício. Se perceber qualquer matéria estranha ou sujeira no seu interior, segurá-la com a abertura para baixo e sacudi-la levemente para desobstruí-la

2) Se a matéria estranha não sair, não usar a espoleta e destruí-la

posteriormente.

3) Não bater na espoleta com ou contra objetos duros.

4) Nunca introduzir qualquer tipo de objeto a não ser o estopim ou cordel detonante no orifício da espoleta.

(b) Colocação do estopim na espoleta

1) Segurar a espoleta verticalmente e fazê-la descer delicadamente sobre o estopim, até que a sua carga fique em contato com a extremidade do estopim.

2) Não torcer ou forçar o estopim dentro da espoleta.

3) Se a extremidade do estopim estiver amassada ou muito larga para penetrar, naturalmente, na espoleta, comprimi-la, rolando o estopim entre os dedos.

(c) Como estriar a espoleta

1) Quando o estopim estiver colocado dentro da espoleta, segurá-lo com o polegar e o dedo anular da mão esquerda e estender o indicador sobre a lateral da espoleta, a fim de e sustentá-la, firmemente, contra a extremidade do estopim (Fig 4-6 – Posição 1).

2) Deslizar o dedo anular para os bordos da espoleta, para guiar o alicate de estriar, durante a operação de estriar, mesmo no escuro.

3) Estriar a espoleta aproximadamente a 0,5 cm de sua extremidade aberta. Uma estria executada próxima ao explosivo pode fazê-lo detonar.

4) Como precaução, manter a ponta da espoleta para fora e afastá-la do corpo, realizando o estriamento com a espoleta numa posição baixa e lateral em relação à frente do corpo, girando a cabeça e protegendo os olhos no momento em que apertar o alicate (Fig 4- 6 – Posição 2).

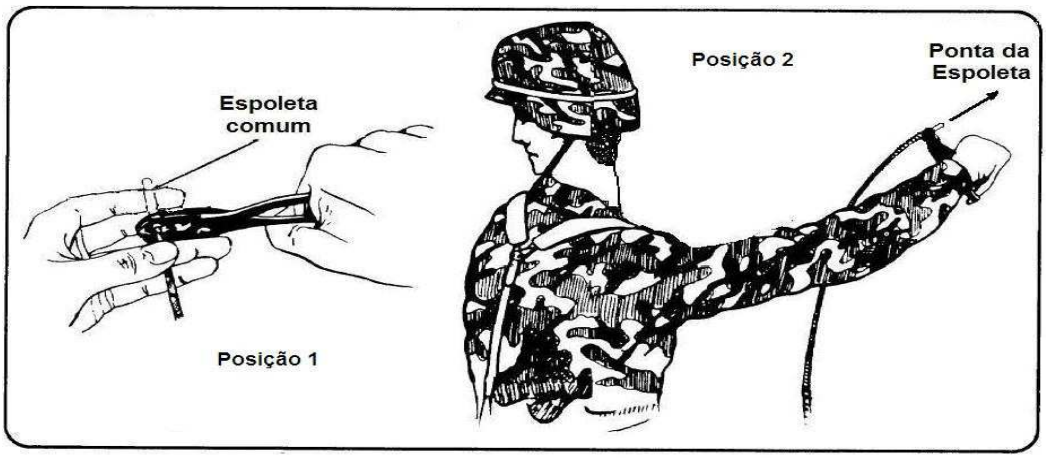


Fig 4- 6. Estria da espoleta

(5) Etapa 5 - Conectar a carga explosiva

Esta fase consiste em introduzir a espoleta preparada na carga explosiva. Esta etapa é uma das mais perigosas, devendo ser redobrada a atenção e realizá-la com o devido cuidado.

(6) Etapa 6 – Detonar a carga

(a) Após ter realizado as etapas acima descritas, o sistema de fogo está pronto para ser acionado.

(b) Mantenha o estopim em linha reta prendendo-o com pedras ou

gravetos de modo que não volte a enrolar e encoste suas voltas, provocando dessa forma um acionamento prematuro do sistema.

Etapa 3. (c) Para iniciá-lo basta agir sobre o dispositivo de ignição preparado na

AVISO

Somente realize o acionamento das cargas após a verificação de todas as condições de segurança e se todo pessoal foi evacuado do local.

2. PROCESSO ELÉTRICO DE LANÇAMENTO DE FOGO

a. Generalidades

O lançamento de fogo pelo processo elétrico é aquele cuja ação inicial é uma corrente elétrica. A corrente elétrica fluindo através do circuito acionará as diversas espoletas que a ele estiverem associadas. Se as espoletas estiverem ligadas em cargas, estas explodirão.

b. Conjunto dos componentes

O processo elétrico de lançamento de fogo é constituído, normalmente, pelo explosor, fios condutores e espoleta elétrica (Fig 4-7).

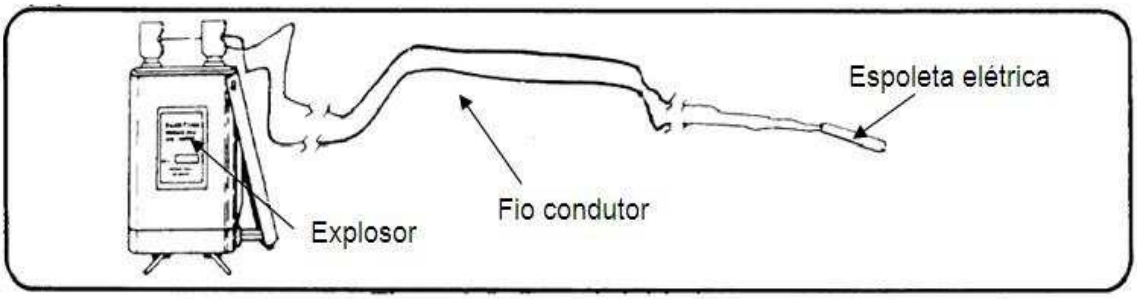


Fig 4- 7. Componentes do processo elétrico

c. Sequência da preparação.

Na preparação de destruições utilizando um processo elétrico, deve-se seguir uma lista de etapas especificadas. Este processo inclui:

Etapa 1 - Teste do explosor.
Etapa 2 – Teste do Galvanômetro ou Ohmímetro.
Etapa 3 – Teste dos fios condutores. **Etapa 4 -** Teste da espoleta elétrica.
Etapa 5 - Lançamento do fio condutor.
Etapa 6 – Inspeção dos fios condutores.
Etapa 7 – Conectar as espoletas no circuito.
Etapa 8 – Conectar o circuito das espoletas no fio condutor.
Etapa 9 – Teste do circuito completo.
Etapa 10 – Escorvamento das cargas.
Etapa 11 – Detonar a carga.

d. Descrição das etapas

(1) Etapa 1 - Teste do explosor

(a) Ao iniciar o teste com o explosor, verificar se a parte mecânica do explosor está em boas condições, acionando-o várias vezes, sem ligar nada a seus bornes. Existem duas maneiras de executar o teste do explosor.

(b) A primeira consiste em utilizar um equipamento de teste de explosor (Fig 4-8). Este equipamento tem a finalidade de verificar se a energia gerada pelo explosor testado está de acordo com a qual foi fabricado.

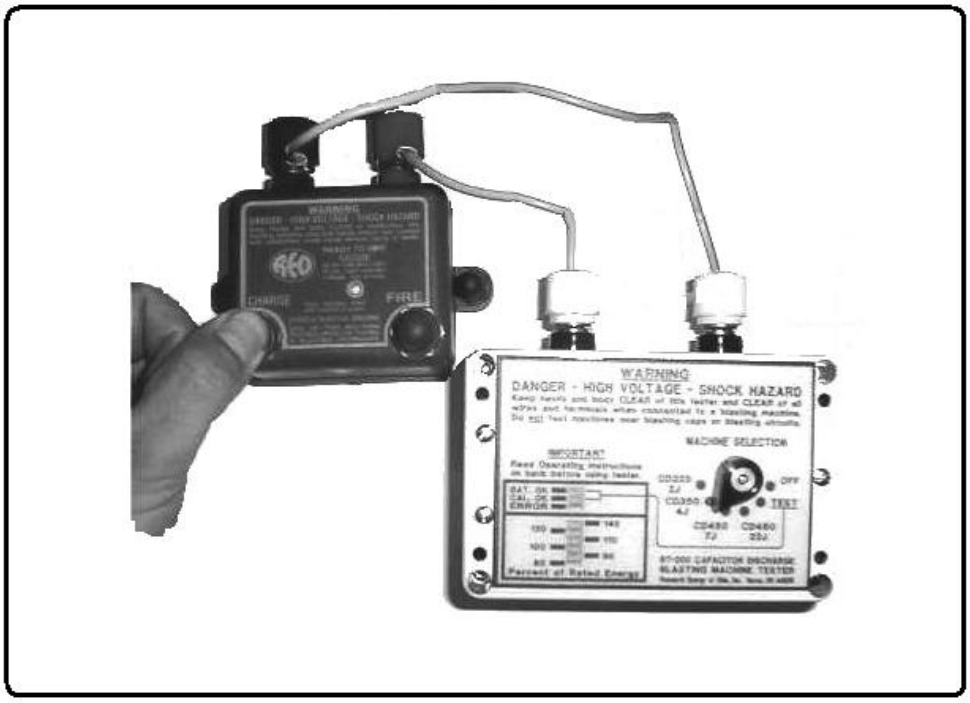


Fig 4-8. Teste de um explosor CJ-450 utilizando um equipamento de teste

(c) A segunda maneira consiste em ligar em série tantas espoletas elétricas quanto for a capacidade do explosor ou do maior circuito que irá montar para destruição. Conectá-las ao maior fio condutor que utilizará para destruição e acionar o explosor. Se as espoletas explodirem, o explosor está em perfeitas condições de uso para o cumprimento da missão planejada.

(d) Precauções com o Explosor

1) Os condutores não devem ser ligados ao explosor enquanto o

circuito não estiver verificado e o encarregado do acionamento das cargas não estiver certo de que ninguém se encontra na zona de perigo.

2) Para fazer a ligação dos condutores ao explosor, afrouxar as porcas dos bornes do explosor, ligar as extremidades do condutor aos bornes e apertar as porcas.

3) O encarregado de acionar o explosor deve executar o trabalho pessoalmente, não o transferindo para outro elemento sob qualquer pretexto.

(2) Etapa 2 - Teste do Galvanômetro ou Ohmímetro

Testar o galvanômetro ou ohmímetro, provocando um curto-circuito em seus dois bornes (Fig 4-9). A agulha do equipamento deverá se deslocar, num salto, para a outra extremidade, no caso dos equipamentos dotados de agulha. No caso dos equipamentos dotados com visor digital aparecerá um valor igual a 0 (zero).

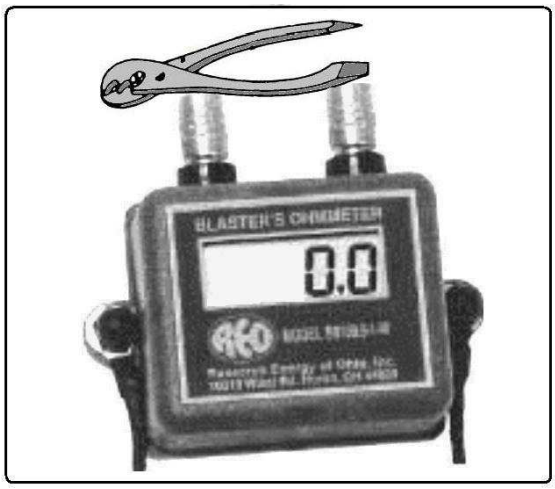


Fig 4-9. Teste do ohmímetro

(3) Etapa 3 - Teste dos fios condutores

(a) Para realizar o teste dos fios condutores deve-se seguir os seguintes passos:

1ª parte - separar os fios condutores das duas extremidades da bobina deixando-os com as pontas descascadas. Encostar os fios condutores de uma extremidade nos bornes do ohmímetro. O visor apresentará valor nulo. Se o visor mostrar um valor positivo, é sinal que os fios condutores estão em curto-circuito e consequentemente inservível para utilização (Fig 4-10).

2ª parte - juntar os fios condutores de uma extremidade da bobina. Encostar os fios da outra extremidade nos bornes do ohmímetro. O visor deverá apresentar um valor positivo aproximado ao calculado da resistência total do fio condutor (. Se o visor apresentar valor nulo, os fios devem estar rompidos em alguma parte de sua extensão. Um valor maior do que o calculado indica um ponto de alta resistência que pode ser motivado por fio sujo, conexões mal feitas ou fios com parte de seus condutores quebrados (Fig 4-10).

Nota: Use no mínimo três voltas de 180° para deixar os fios em curto-circuito.

(b) O fio condutor pode ser testado na bobina, mas deve ser testado novamente após ter sido desenrolado, porque nesta oportunidade poderá ser evidenciada a existência de partes rompidas, que não são percebidas quando o fio está enrolado.

(c) Ao final do teste deixar ambas as extremidades em curto-circuito (“shunt”).

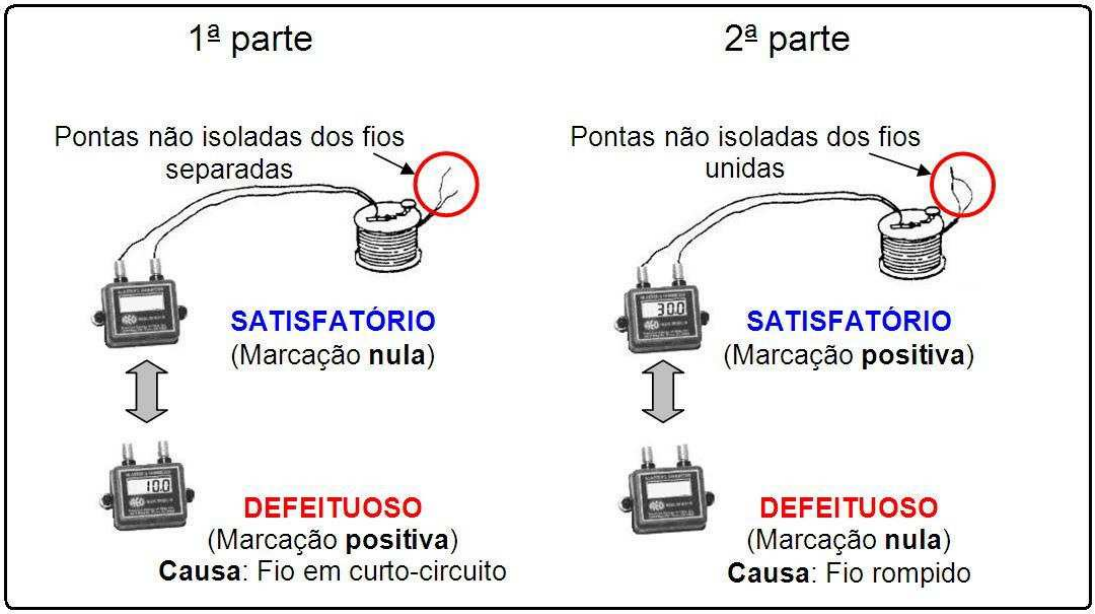


Fig 4-10. Teste dos fios condutores

(4) Etapa 4 - Teste da espoleta elétrica

(a) Deve-se primeiro realizar o teste do galvanômetro – ver Etapa 2. Não usar fonte de alimentação mais forte do que a do galvanômetro ou ohmímetro, porque a espoleta poderá ser acionada.

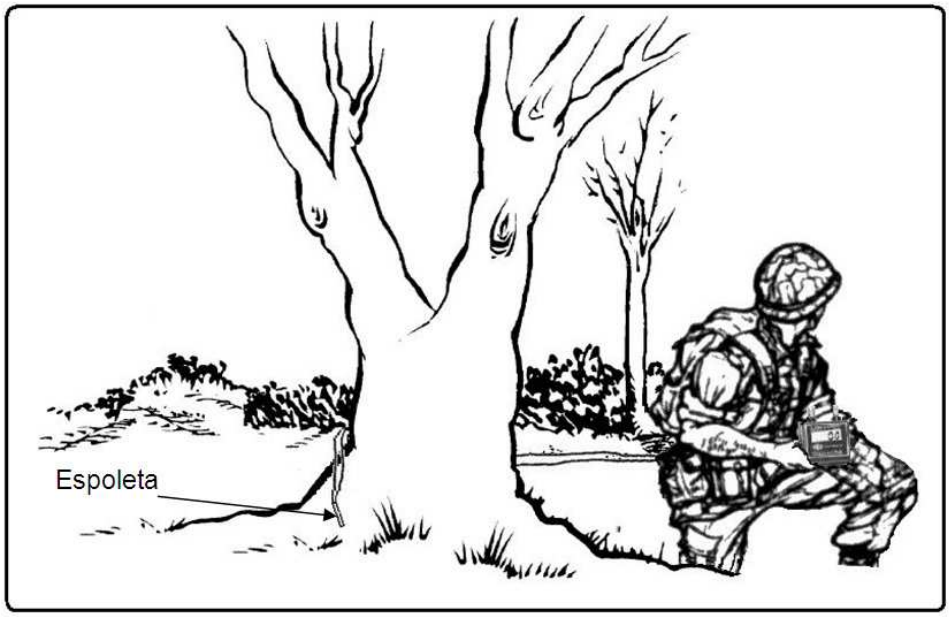


Fig 4-11. Teste da espoleta

(b) Sequência do teste da espoleta elétrica:

1) Retirar a espoleta da sua caixa e separar as suas extremidades removendo o "shunt".

2) Colocar a espoleta em tal situação que um acionamento ocasional não provoque ferimentos a quem estiver efetuando o teste. Como sugestão, colocar a espoleta sob um capacete de aço, um saco de areia ou atrás de algum obstáculo (por

exemplo, uma árvore) existente no local do teste (Fig 4-11);

3) Encostar as extremidades dos fios condutores nos bornes do galvanômetro ou ohmímetro:

- se a agulha se mover, a espoleta está boa; ou
- se a agulha não se mover, a espoleta está defeituosa, devendo ser destruída, juntando-a a uma carga que esteja para ser acionada.

(c) Precauções

1) As espoletas elétricas, depois de retirado de "shunt", podem detonar devido às correntes elétricas induzidas pela radiofrequência. Por isso, só retirá-la quando for utilizá-las.

2) As distâncias de segurança constam do Anexo D (DISTÂNCIA DE SEGURANÇA DE ANTENAS TRANSMISSORAS). Estas distâncias são aplicadas às frequências produzidas pelas ondas provenientes dos equipamentos rádio, radar, micro-ondas e televisão.

3) Transmissores móveis ou portáteis não devem transmitir a menos de 50 m de qualquer espoleta elétrica ou sistema de lançamento de fogo.

4) Se for necessário transportar espoletas elétricas próximo de transmissores que estão sendo usados (veículos, helicópteros etc), acondicioná-las em uma caixa metálica com uma tampa de, no mínimo, 1,5 cm de altura (borda lateral), que se ajuste firmemente à caixa.

5) Não remover espoletas elétricas de sua caixa nas proximidades de um transmissor que estiver operando, a menos que o risco seja julgado aceitável.

(5) Etapa 5 - Lançamento do fio condutor

(a) Após ter encontrado uma posição para o acionamento das cargas a uma distância segura longe das cargas, desenrole o fio condutor das cargas para a posição escolhida. Mais de uma bobina do fio condutor pode ser necessária.

(b) Não permita que veículos ou pessoal passem sobre o fio condutor após ser estendido. Procure enterrá-lo ou estendê-lo sobre o solo em local onde não haja circulação.

(c) Mantenha o fio condutor tão curto como possível. Evite criar laços ou voltas em excesso, sempre procurando estendê-lo o mais reto possível.

(6) Etapa 6 - Inspeção dos fios condutores

(a) Repita os testes executados na Etapa 3. O processo de desenrolar o fio condutor pode ter alterado as condições da emendas.

(b) A partir deste momento, assegure-se que ninguém irá manusear o fio condutor ou provoque um acionamento prematuro das cargas.

(c) Use sinais visuais (mãos, bandeirolas, outros) para indicar as fases e os resultados de teste. Os sinais visuais são necessários tendo em vista a larga distância entre as cargas e a posição do acionamento. O homem que está em uma extremidade do fio pode emitir estes sinais diretamente ao soldado na extremidade oposta do fio. Caso não exista contato visual entre os responsáveis pelo teste, os sinais serão repassados por um elemento posicionado em um local intermediário ou fazer uso de um rádio portátil para comunicação. O verificador (que está com o ohmímetro) sinaliza para o assistente que coloque a extremidade oposta do fio condutor separada, estendendo ambos os braços em linha reta para fora na altura do ombro. Após colocar o fio condutor nesta posição, o assistente na extremidade contrária repete o sinal. Quando o verificador solicitar que a extremidade oposta do fio condutor esteja unida ("shunt"), ele sinalizará para seu assistente, unindo as mãos e estendendo seus braços sobre a cabeça e os cotovelos dobrados, como uma forma de diamante. Após executar a união do fio condutor, o assistente repete o sinal, indicando ao verificador que o fio está na condição solicitada. Após terminar a inspeção dos fios, coloque ambas as extremidades do fio condutor unidas ("shunt").

(7) Etapa 7 - Conectar as espoletas no circuito

(a) Quando forem usadas duas ou mais espoletas elétricas, elas devem ser conectadas conforme os tipos de circuito ilustrados no subparágrafo 4-2. d.

(b) Após realizar o teste com cada espoleta individualmente (**Etapa 4**), faça a conexão entre elas utilizando os processos de emenda ilustrados no subparágrafo 4-2. e.. Proteja todas as conexões do circuito com fita isolante. Não use outro tipo de fita para realizar o isolamento, pois isto poderá provocar uma falha.

(c) Terminada a conexão, faça o teste do circuito das espoletas conectando as extremidades livres do circuito no ohmímetro ou galvanômetro. O valor mostrado deverá estar próximo da soma das resistências individuais das espoletas. Se for observada uma falha, verifique novamente as conexões.

(d) Após ter testado o circuito das espoletas, coloque suas duas extremidades em curto-circuito.

(8) Etapa 8 - Conectar o circuito das espoletas no fio condutor

Conecte o circuito das espoletas ao fio condutor antes de instalar as espoletas nas cargas. Isole todas as conexões com fita isolante.

(9) Etapa 9 - Teste do circuito completo

Realize o teste do circuito completo utilizando a extremidade do fio condutor do local de acionamento das cargas. Para isto, conecte as pontas do fio condutor no ohmímetro ou galvanômetro. O resultado será um valor próximo do calculado, somando-se a resistência total do fio condutor e a resistência das espoletas. Após o teste, coloque em curto-circuito ("shunt") as extremidades do fio condutor.

AVISO

Não conecte as espoletas na carga ou cordel detonante até que todas etapas anteriores da sequência de preparação estejam terminadas.

(10) Etapa 10 - Escorvamento das cargas

Introduza as espoletas elétricas nas cargas de acordo com as prescrições do Artigo IV.

(11) Etapa 11 – Detonar as cargas

1) Separe as extremidades do fio condutor e prenda-as firmemente aos bornes do explosor.

2) Acionar o explosor, fazendo explodir a carga.

AVISO

Somente realize o acionamento das cargas após a verificação de todas as condições de segurança e se todo pessoal foi evacuado do local.

e. Tipos de circuitos elétricos

(1) Circuito em série

(a) Generalidades

Os circuitos em série são empregados para fazer as ligações de cargas acionadas eletricamente por meio de explosor.

(b) Tipos

1) Circuito em série comum - para se fazer uma ligação em série comum (Fig 4-12), basta ligar um dos condutores da espoleta da 1ª carga a um dos condutores da 2ª carga; ligar o que sobra da 2ª a um dos condutores da espoleta da 3ª, e assim por diante, até só restar livre um conector da 1ª carga e um outro da última. Estes dois são, finalmente, ligados aos condutores principais.

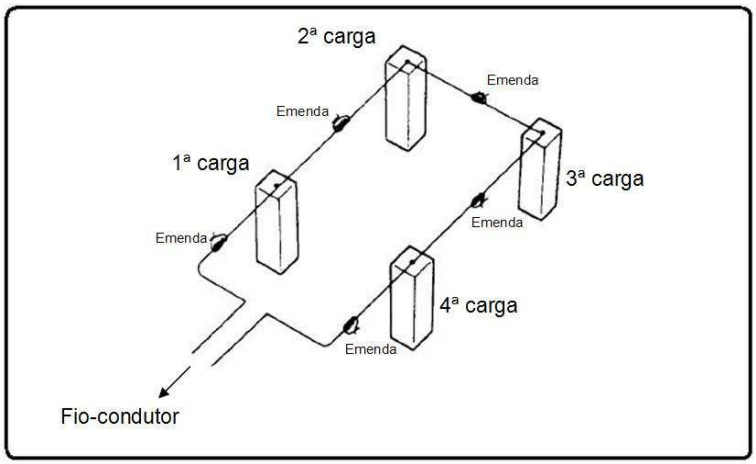


Fig 4-12. Circuito em série comum

2) Circuito em série salto de rã - este circuito é particularmente usado para acionar cargas para abertura de crateras ou quando a linha de cargas é muito extensa. Este processo consiste em ligar alternadamente as cargas (Fig 4-13), eliminando a necessidade de se lançar um fio condutor muito longo para alcançar a extremidade mais distante da linha de cargas.

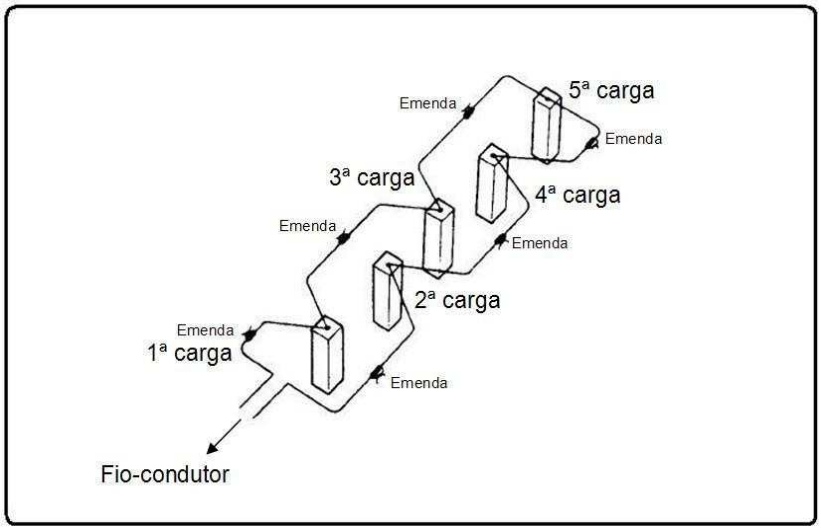


Fig 4-13. Circuito em série salto de rã

(2) Circuito em paralelo e série-paralelo (Fig 4-14 e 4-15)

Não são normalmente usados em campanha, pois o seu acionamento necessita de uma forte corrente elétrica, o que não é o caso da produzida por um explosor convencional. Estes circuitos devem ser usados somente por elementos muito especializados, por requererem cálculo cuidadoso para assegurar a explosão de todas as cargas. Enquanto no circuito em série a corrente necessária é igual a 1,5 A sem haver necessidade de se levar em consideração o número de espoletas, nos circuitos em paralelo a corrente necessária é de 0,6A para cada espoleta regulamentar (Nr 6 e 8).

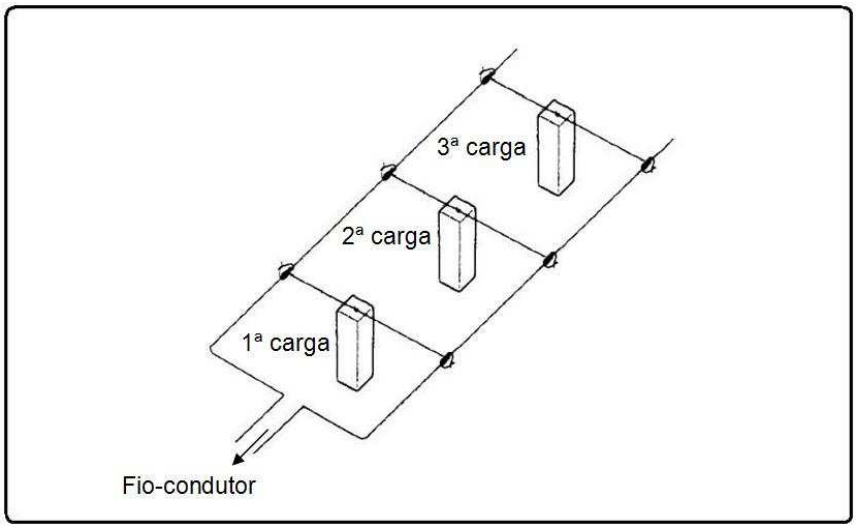


Fig 4-14. Circuito em paralelo

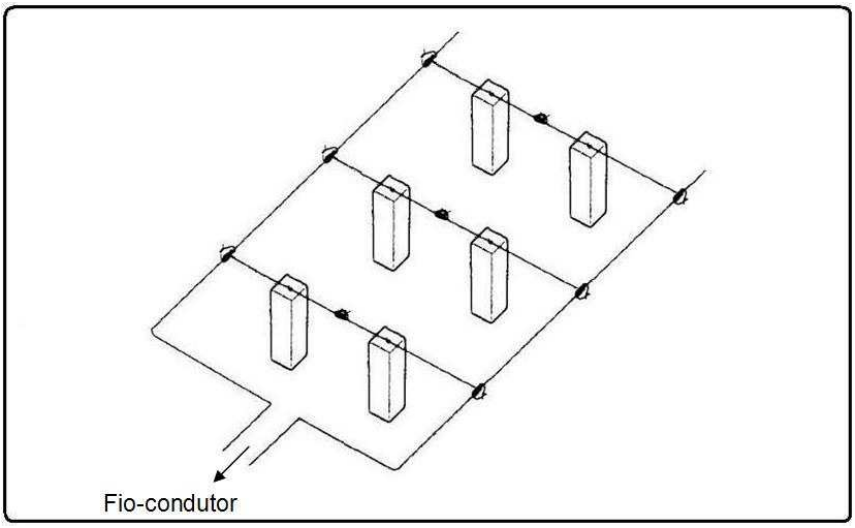


Fig 4-15. Circuito em série-paralelo

f. Ligações e emendas

(1) Ligações - para evitar falhas causadas por ligações elétricas mal feitas, um elemento, que conheça perfeitamente a técnica dessas ligações, deve ser o único responsável por todas as ligações do circuito. Deverá fazer, pessoalmente, todas as emendas, para estar seguro de que todas espoletas estão incluídas no circuito e que todas as ligações entre os condutores das espoletas, principais e secundários, estão perfeitas e que não há curto-circuito.

(2) Emendas

(a) Emenda de fio condutor simples (Emenda "rabo de porco")

1) Desencapar, aproximadamente, 7 cm da extremidade de cada fio.

2) Remover, cuidadosamente, com uma lâmina, toda oxidação ou qualquer outra substância que tenha se fixado às extremidades desencapadas dos condutores, cuidando para que os mesmos não se quebrem ou enfraqueçam.

3) Quando estiver empregando um fio condutor de alma múltipla, depois de limpá-lo, torcer os fios da alma, de modo a formarem um conjunto único.

4) Proteger a ligação de uma forte tração acidental atando os condutores por meio de um nó-direito, deixando um comprimento nas extremidades que possibilite a emenda regulamentar.

5) Emendar os condutores como mostra a Fig 4-16.

6) Caso haja perigo da emenda tocar a terra ou outro condutor, envolvê-la com fita isolante.

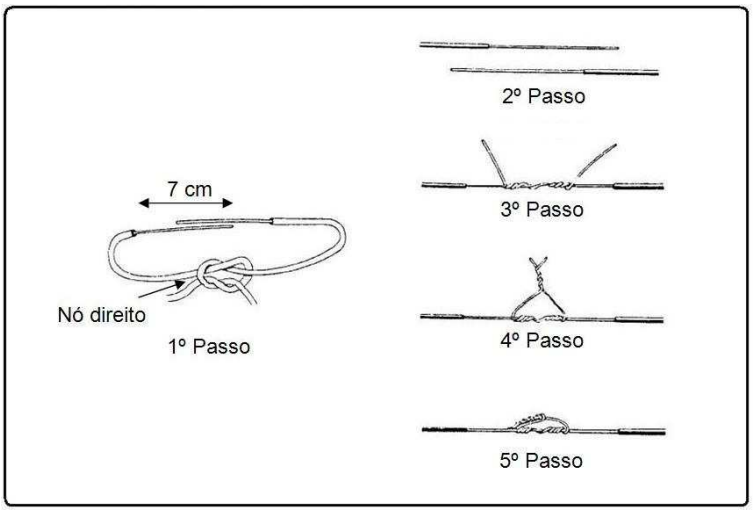


Fig 4-16. Nó “rabo de porco”

(b) Emenda de fio condutor duplo

Quando um par de condutores paralelos tiver de ser emendado a outro par, como no caso da ligação de condutores secundários com condutores principais ou no próprio condutor principal, as emendas devem ficar afastadas, como se vê na Fig 4-17, evitando desta forma um curto-circuito entre as duas emendas.

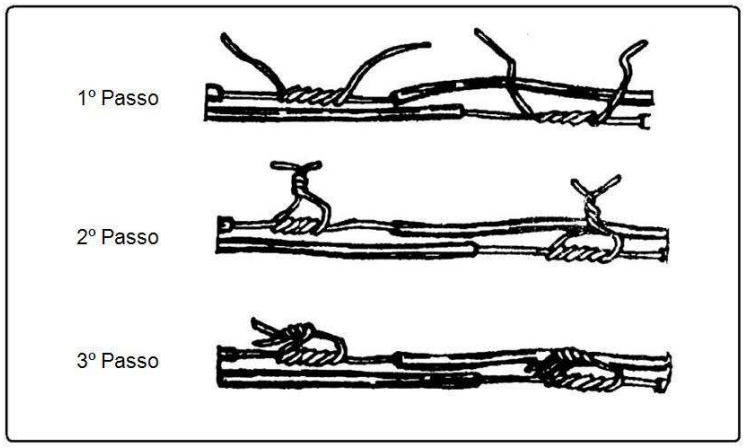


Fig 4-17. Emenda de condutores duplos paralelos

(c) Cuidados

As emendas devem ser protegidas contra os curtos-circuitos. Quando os fios estão lançados sobre a terra úmida, as emendas não isoladas devem ser levantadas por meio de blocos de pedras ou pedaços de madeira. Sempre que possível, completar as emendas, enrolando-as com fita isolante. Tal cuidado é indispensável sempre que ficarem sob um enchimento úmido.

g. Cuidados a serem observados na instalação dos circuitos elétricos

(1) Um circuito em série NÃO deve conter mais do que 50 espoletas. A utilização de mais de 50 espoletas ligadas em série aumenta as possibilidades de falha no circuito, onde algumas espoletas poderão deixar de ser detonadas. Para um circuito em série-paralelo utilizar no máximo 30 espoletas em um grupo em série.

(2) Podem ocorrer acidentes quando forem coletadas correntes elétricas parasitas (Exp: eletricidade estática), transportadas pelos condutores principais até a espoleta, podendo provocar explosões prematuras. Para eliminar a possibilidade de tais acidentes, juntar as extremidades dos condutores principais ("shunt"), torcendo-as entre si e conservando-as assim até que tenham de ser ligadas aos condutores da espoleta ou aos bornes do explosor.

(3) Se as cargas tiverem de ser colocadas a uma distância menor do que a prevista de um transmissor (Ver Anexo D), o procedimento mais SEGURO é usar o sistema pirotécnico de lançamento de fogo, que evitará um acionamento acidental das cargas devido às correntes de radiofrequência.

(4) O processo elétrico de lançamento de fogo NÃO deve ser feito a menos de 150 m de linhas de alta tensão, porque o campo magnético existente em torno dessas linhas pode causar o acionamento da espoleta. Também, neste caso, o procedimento mais seguro é usar o sistema pirotécnico.

(5) Os condutores para a ligação das cargas só devem ser empregados quando não for possível fazer esta ligação com os próprios fios das espoletas, devido ao seu comprimento ser menor do que a distância entre as cargas.

(6) Em um mesmo circuito, só utilizar espoletas do mesmo tipo e do mesmo fabricante, da mesma forma com os condutores que devem ser do mesmo tipo e tamanho.

(7) Construir circuitos equilibrados quando utilizar as ligações série-paralelo, isto é, mesmo número de espoletas por grupo em série.

(8) Deve-se utilizar sempre que possível a corrente contínua como energia de iniciação. Caso seja utilizada a corrente alternada, esta deverá ter no mínimo 25 ciclos ou de preferência maior que 50 ciclos.

h. Cálculos de circuito elétrico

(1) Leis que regem o cálculo

(a) Lei de Ohm

1) $V = RI$

2) Onde V = voltagem, em Volts.
R = resistência, em Ohms (Ω).
I = corrente, em ampéres.

(b) Lei da potência

1) $W = I^2 R$ ou $W=VI$

2) Onde W = potência, em Watts.
I = corrente, em ampéres.
R = resistência, em Ohms.
V = voltagem , em Volts.

(2) Dados

(a) Características das espoletas

1) Corrente

a) Circuito em série

- Corrente contínua (CC) – 1,5 ampéres, no mínimo, para qualquer número de espoletas.

- Corrente alternada (CA) – 3,0 ampéres para qualquer número de espoletas.

b) Circuito em paralelo – 0,6 ampéres por espoleta.

2) Resistência

Depende do tipo, mas normalmente considera-se 2,0 Ohms.

(b) Características dos fios condutores

Ver Anexo P – características dos fios condutores.

(3) Cálculo de um circuito em série

(a) Corrente necessária:

- 1,5 ampéres, independendo do número de espoletas.

(b) Resistência:

- Resistência das espoletas mais resistência do condutor (Ver Anexo E e P, respectivamente).

(c) Voltagem necessária

- Fórmula: $V = RI$

(d) Potência necessária

- Fórmula: $W = I^2 R$ ou $W = VI$

(e) Exemplo:

Que amperagem, voltagem e potência serão necessárias para acionar 20 espoletas regulamentares ligadas em série, tendo-se empregado 150 m de fio duplo Nr 18 para ligação do explosor?

Resposta:

1) Corrente necessária:

- 1,5 ampéres (CC).
- 3,0 ampéres (CA).

2) Resistência:

- Espoletas: 20 x 2 = 40 Ohms.

- Fio condutor: 2(fio paralelo) x 150m x 20,73(Ohm/1000m) = 6,22 Ohms.

- Resistência Total: 40 + 6,22 = 46,22 Ohms.

3) Voltagem necessária

Considerando-se os valores de 1,5 e 3,0 A para detonação de espoleta com CC e CA, respectivamente, temos:

- Fórmula: V= RI.
- V = 46,22 x 1,5 = 69,33 V (CC).
- V = 46,22 x 3,0 = 138,66 V (CA).

4) Potência necessária

- Fórmula: $W = I^2 R$ ou W=VI.
- $W = 1,5^2 \times 46,22 = 104$ Watts (CC).
- $W = 3,0^2 \times 46,22 = 415,98$ Watts (CA).

5) Caso tivéssemos uma fonte de 110 V, CC, a corrente que atravessaria o circuito seria:

- Fórmula: I = V/R.
- 110 / 46,22 = 2,38 A.

Este valor é menor do que o máximo permitido para estas espoletas. Caso fosse maior, seria necessário inserir no circuito resistências adicionais.

(4) Cálculo de um circuito em paralelo

(a) Corrente necessária:

- 0,6 ampéres por espoleta.
- I = 0,6 N.
- Onde I = corrente, em ampéres.
  N = nr de espoletas em paralelo.

(b) Resistência:

- Espoletas: R_E/N.

Onde R_E = resistência da espoleta elétrica utilizada (as espoletas devem ser do mesmo tipo), em Ohms.
N = número de espoletas utilizadas em paralelo.

- Fio tronco: $\frac{E \times 2 \times A \times R}{2 \times 1000}$

Onde: E=nr de espaçamentos entre as espoletas (Nr Espoletas – 1)
2 = dois fios paralelos do sistema.
A = afastamento entre as espoletas, em metros.
R = resistência do fio por km, em Ohm/km.
2 = divisão por dois, pois considera-se apenas um lado.
1000 = a resistência do fio é dada em km.

- Fio condutor: ver tabela no Anexo P.

(c) Voltagem necessária
- Fórmula: V= RI.

(d) Potência necessária
- Fórmula: W = I^2 R ou W=VI.

(e) Exemplo:

Que amperagem, voltagem e potência serão necessárias para acionar 20 espoletas regulamentares ligadas em paralelo, com 3 m de intervalo ao longo do par de fios tronco Nr 20, se tivermos usado 120 m de fio duplo Nr 18, para fio condutor?

Resposta:

1) Corrente necessária:

- I = 0,6 N = 0,6 x 20 = 12 A.

2) Resistência:

- Espoletas: R_E / Nr Espoletas = 2 / 20 = 0,1 Ohm.

- Fio Tronco = $\frac{19 \times 2 \times 3 \times 32,68}{2 \times 1000}$ = 1,86 Ohms.

- Fio condutor: $\frac{2 \times 120}{1000}$ = 5,0 Ohms.

- Resistência Total: 0,1 + 1,86 + 5 = 6,96 Ohms.

3) Voltagem necessária

- Fórmula: V= RI.

- V = 6,96 x 12 = 84 V.

4) Potência necessária

- Fórmula: $W = I^2 R$ ou $W=VI$.

- $W = 12^2 \times 6,96 = 1008$ Watts.

(5) Cálculo de um circuito em série-paralelo

(a) Corrente necessária:

- $I = 1,5\ N_G$.

Onde N_G = Número de grupos em série.

(b) Resistência:

- Espoletas

Grupo: $R_N = N_E \times R_E$

Circuito: $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \text{K} + \frac{1}{R_N}$

Onde R_N = resistência das espoletas do grupo, em Ohms.

N_E = número de espoletas dentro do grupo, em Ohms.

R_E = resistência da espoleta elétrica utilizada (as espoletas devem ser do mesmo tipo), em Ohms.

R_T = resistência total do circuito, em Ohms.

$R_{1,2,..,\ N}$ = resistência dos grupos, em hms.

- Fio tronco: $\frac{E \times 2 \times A \times R}{2 \times 1000}$

Onde: E=nr de espaçamentos entre os grupos (Nr Grupos – 1).

2 = dois fios paralelos do sistema.

A = afastamento entre os grupos, em metros.

R = resistência do fio por km, em Ohm/km.

2 = divisão por dois, pois considera-se apenas um lado.

1000 = a resistência do fio é dada em km.

- Fio condutor: Ver tabela no Anexo P.

(c) Voltagem necessária

- Fórmula: $V= RI$.

(d) Potência necessária

- Fórmula: $W = I^2 R$ ou $W=VI$.

(e) Exemplo:

Que amperagem, voltagem e potência serão necessárias para acionamento de um circuito série-paralelo formado por 10 grupos de 30 espoletas regulamentares ligadas em série? Usaram-se 120 m de fio Nr 20 como tronco e 150 m de fio duplo Nr 18, como fio condutor.

Resposta:

1) Corrente necessária:

- $I = 1,5\ N_G = 1,5 \times 20 = 15,0$ A.

2) Resistência:

- Espoletas

Grupo: $R_N = 30 \times 2 = 60,0$ Ohms.

Circuito: $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R} + \ldots + \frac{1}{R_{10}} = \frac{10}{60}$ = 6, 0 Ohms.

2

- Fio tronco: $\frac{120 \times 2 \times 32,68}{2 \times 1000}$ = 3,9 Ohms.

- Fio condutor: $\frac{150 \times 2 \times 20,73}{1000}$ = 6,2 Ohms.

- Resistência Total: 6,0 + 3,9 + 6,2 = 16,1 Ohms.

3) Voltagem necessária
- Fórmula: V= RI.
- V = 16,1 x 15 = 241,5 V.

4) Potência necessária

- Fórmula: $W = I^2 R$ ou W=VI.
- $W = 15^2 \times 16,1 = 3622,5$ Watts.

6) Capacidade dos geradores

Para calcular a capacidade dos geradores deve-se procurar as especificações prescritas em seus manuais de utilização ou nas chapas de identificação. Os procedimentos para este cálculo são os seguintes:

(a) Nr de grupos em série ligados em paralelo

- Fórmula: $N_G = \frac{\text{Amperagem Máxima do gerador}}{1,5}$

(b) Resistência máxima do circuito

- Fórmula: $R_{Max} = \frac{0,9 \text{ x Voltagem do gerador}}{1,5 \times N_G}$

(c) Resistência total para as espoletas

- Fórmula: $R_{ET} = R_{Máx} - R_{Condutor} - R_{Tronco}$

(d) Número máximo de espoletas por grupo em série

- Fórmula: $N_E = \frac{R_{ET} \times N_G}{R_E}$

(e) Voltagem disponível do gerador

- Fórmula: 0,9 x Voltagem do gerador

i. Localização de falhas no circuito

(1) Verificar o circuito completo, conforme o prescrito na Etapa 9.

(2) Caso o galvanômetro indique uma interrupção (não há movimento da agulha ou existe marcação nula), verificar se o condutor principal está em perfeitas condições, agindo conforme o prescrito na Etapa 3.

(3) Se o condutor principal estiver perfeito, verificar o circuito das cargas, conforme o prescrito na Etapa 7.

(4) Se a verificação anterior indicar uma interrupção (a agulha do galvanômetro não se movimenta ou há marcação nula), manter um dos bornes do galvanômetro ou ohmímetro ligado ao ponto de união de um dos condutores secundários ao principal e ir ligando o outro borne a cada uma das emendas (o fio de ligação galvanômetro-emenda deve ser suficientemente longo para poder alcançar todas as emendas do circuito); quando a agulha indicar passagem de corrente em uma emenda e não indicar na emenda seguinte, é porque a interrupção se deu entre as duas, ficando assim localizada a falha no circuito.

j. Reparação do circuito

(1) Se a interrupção for acessível, refazer a emenda, dentro da orientação estabelecida no item e.

(2) Se houver uma espoleta defeituosa e acessível, providenciar a sua substituição; se não for possível, tratá-la como um caso de falha de lançamento de fogo.

(3) Depois de localizar e reparar todas as interrupções, fazer novo teste do circuito completo (Etapa 9)

3. PROCESSO “NONEL”

a. Generalidades

O “NONEL” (“Non-electric”) é um processo não elétrico, que transmite uma onda de choque por meio de um tubo plástico capaz de iniciar uma espoleta comum amolgada em sua extremidade.

b. Conjunto dos componentes (4-18)

Esse processo consiste em um dispositivo de iniciação do tubo (explosor para “NONEL”, cordel detonante, espoleta comum ou elétrica), o tubo de choque (transmite a chama que inicia a espoleta), e uma espoleta comum (fornece energia adequada para detonar o explosivo podendo conter um elemento de retardo).

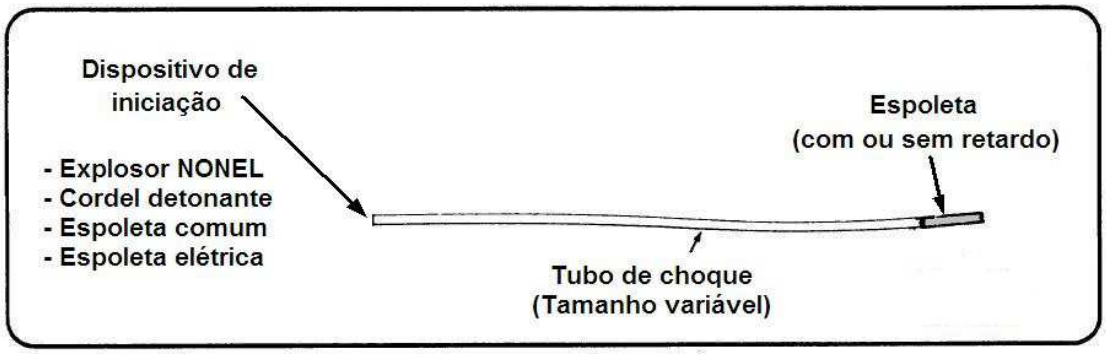


Fig 4-18. Componentes do processo “NONEL”

c. Sequência da preparação

Na preparação de destruições utilizando um processo “NONEL”, deve-se seguir uma lista de etapas especificadas. Este processo inclui:

Etapa 1 – Realizar as conexões necessárias.

Etapa 2 - Conectar a(s) espoleta(s) na(s) carga(s).

Etapa 3 - Colocar um dispositivo de ignição no tubo de choque.

Etapa 4 – Detonar a carga.

d. Descrição das etapas

(1) Etapa 1 - Realizar as conexões necessárias.

(a) De acordo com o planejamento da destruição a ser realizada (Exp: desmonte de rocha, carga de ruptura etc), proceda a montagem do sistema de acordo com a situação específica.

(b) A conexão entre um “NONEL” e outro pode ser realizada com o auxílio de conectores (Fig 4-19). Esses conectores são formados por um tubo de choque e um acessório plástico que possui uma carga explosiva, tal qual uma espoleta comum, o qual permite acoplar outro tubo de choque. A onda de choque é

passada aos outros tubos pela detonação da carga interna localizada no acessório plástico. O conector já vem fabricado unido ao tubo de choque e pode vir acompanhado ou não de uma espoleta na outra extremidade. Alguns conectores possuem um sistema de retardo junto à carga interna.

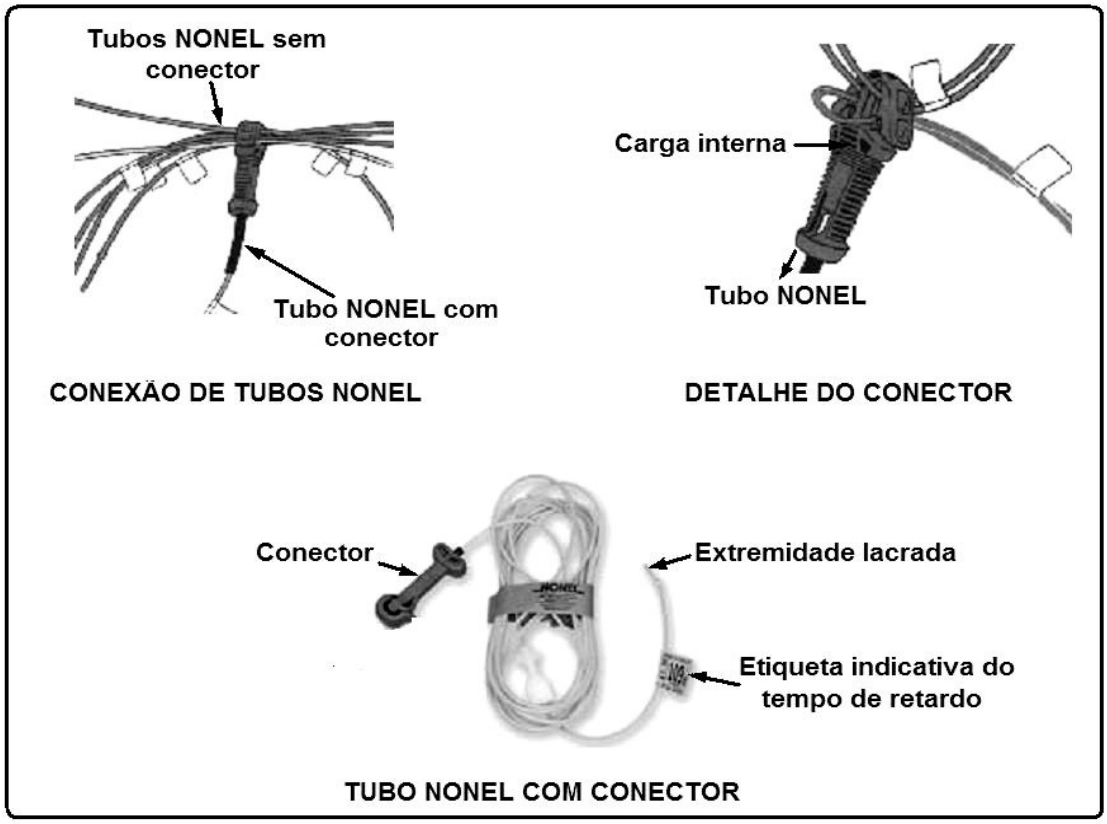


Fig 4-19. Conectores de “NONEL”

(c) O cordel detonante pode ser utilizado para realizar a união de outros “NONEL”. Para isso, utilizam-se os mesmos nós de conexão do cordel detonante ou um conector em “J” (Fig 4-20).

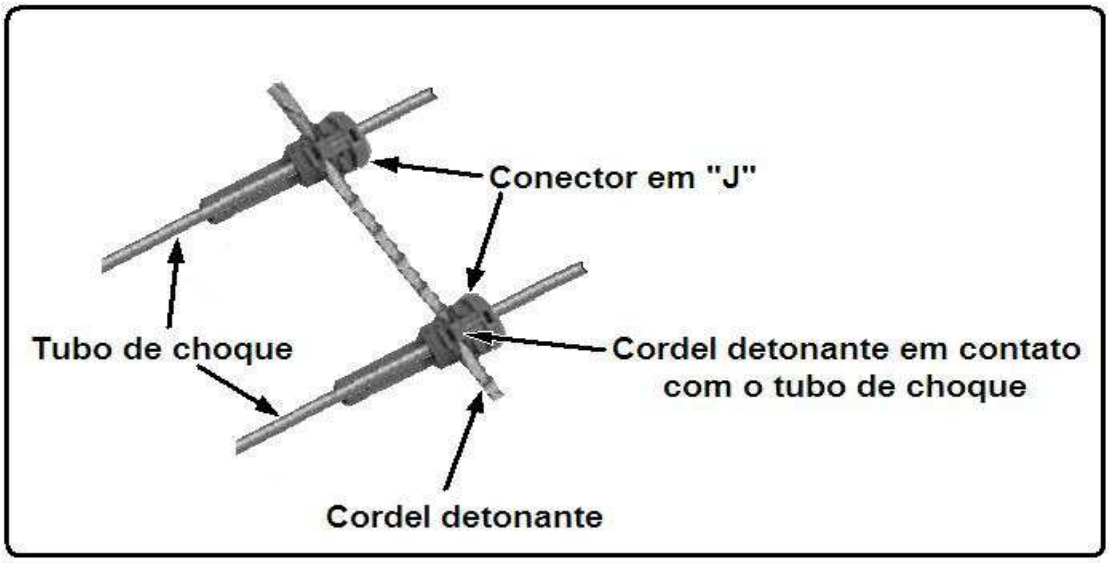


Fig 4-20. Conector em “J” de “NONEL”

(d) A conexão do tubo de choque à espoleta é realizada da mesma forma que a escorva de uma espoleta em um cordel detonante, porém sem a necessidade de criar o "berço" para acomodar a espoleta. Deve-se utilizar fita isolante para realizar essa amarração.

(2) Etapa 2 - Conectar a(s) espoleta(s) na(s) carga(s).

Para esta etapa utilize os mesmos procedimentos de escorva de uma carga com espoleta comum ou elétrica.

(3) Etapa 3 - Colocar um dispositivo de ignição no tubo de choque.

(a) Esse processo pode ser iniciado por um outro "NONEL", utilizando-se para isto, de uma bobina com um tubo de choque de grande comprimento (Exp: 750 m). A iniciação dar-se-á por um explosor para "NONEL" conectado na extremidade livre (Fig 4-21).

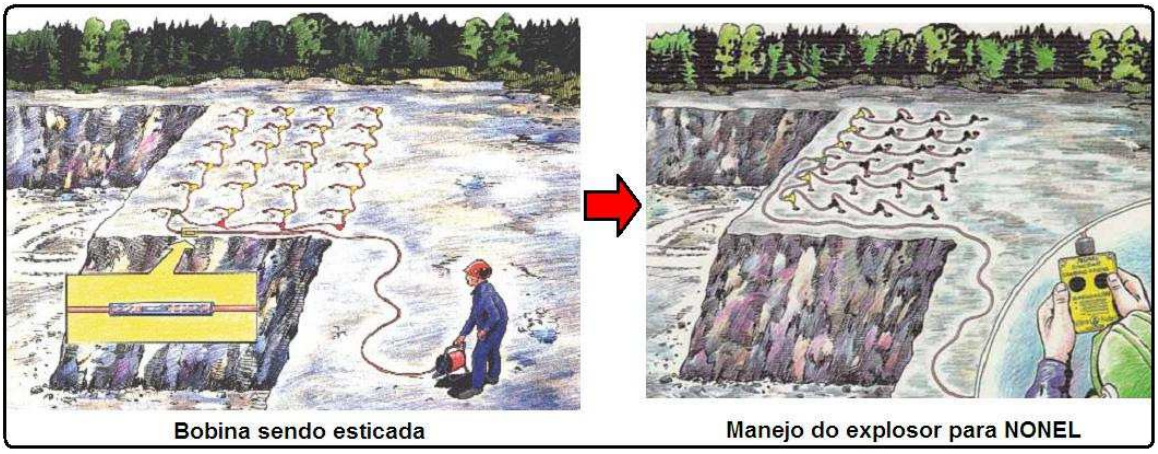


Fig 4-21. Iniciação do sistema com outro "NONEL"

(b) Pode-se iniciá-lo também por meio de um processo pirotécnico ou elétrico, para isto basta conectar a espoleta ao sistema seguindo o mesmo procedimento descrito na etapa 1.

(4) Etapa 4 - Detonar a carga

Proceda a detonação realizando o acionamento pelo meio escolhido na Etapa 3.

e. Observações

(1) O processo "NONEL" não possui um equipamento de teste do circuito. Por este motivo deve-se redobrar os cuidados na preparação das conexões.

(2) Deve-se evitar dobras agudas ou cortes no tubo "NONEL", pois podem interromper a onda de coque através do tubo.

4. PROCESSO DE LANÇAMENTO DE FOGO EMPREGANDO O CORDEL DETONANTE

a. Generalidades

(1) Os processos de lançamento de fogo pelo cordel detonante podem ser utilizados para cargas simples ou múltiplas.

(2) É um processo muito versátil e de fácil utilização. É muito utilizado para

o acionamento de cargas simultâneas subaquáticas e/ou subterrâneas, porque a espoleta, que o faz detonar, pode ser colocada em local visível e de fácil manuseio.

b. Iniciação do cordel detonante

(1) O cordel detonante pode ser detonado por qualquer tipo de espoleta (comum, elétrica, eletrônica e "NONEL").

(2) A espoleta deve ser fixada, aproximadamente, de 15 cm a 20 cm (um palmo) da extremidade do cordel detonante, com o auxílio de várias voltas de barbante, fio, fita isolante ou clipe M1. A ponta fechada da espoleta deve ficar voltada para a parte maior do cordel detonante (Fig 4-22 e 4-23).

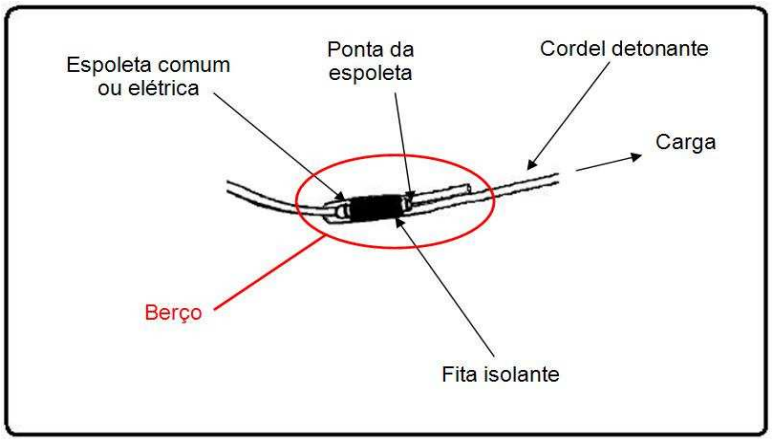


Fig 4-22. Escorvamento do cordel detonante com fita isolante

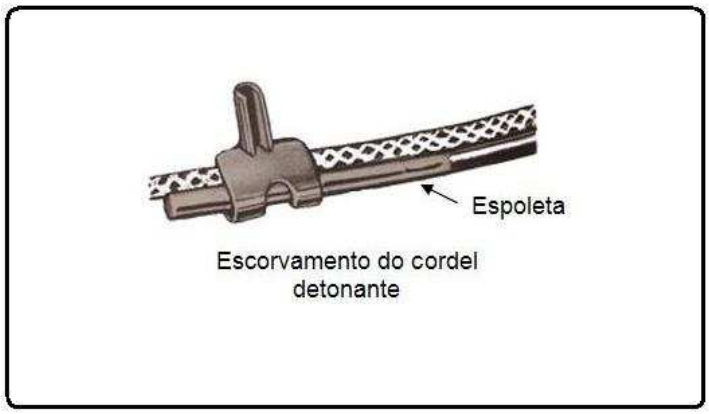


Fig 4-23. Escorvamento do cordel detonante com clipe M-1

c. Conexões com o cordel detonante

(1) Utilização do clipe M-1(Fig 4-24)

A seguir estão descritos os processos para a realização de emendas com o Clipe M-1:

(a) Ligação de duas extremidades do cordel detonante - as extremidades do cordel detonante são ajustadas por superposição de 30 cm colocando-se o clipe no meio das partes superpostas, e apertando a lingueta do clipe sobre ambas as extremidades. Torna-se a ligação firme quando se dobra a calha do clipe sobre a lingueta, apertando-a. A operação está indicada na figura 3-12.

(b) Ramificações de cordel detonante - as ramificações de cordel detonante são ligadas, prendendo o ramo derivante com a calha do clipe e o ramo principal com a lingueta do clipe, como está representado na figura. A lingueta é alargada; cerca de 15 cm do ramo derivante são passados pela calha e pelo orifício da lingueta; a calha é apertada firmemente em torno do cordel; então o ramo

principal é passado sobre o ramo derivante e sob a lingueta que é em seguida, apertada firmemente sobre os dois ramos. Caso se disponha de tempo, pode-se completar a operação estriando o clipe, com um alicate apropriado, em torno de cada ramificação.

(c) Escorvamento do cordel detonante - para escorvar o cordel detonante, ligá-Io à espoleta por meio de um clipe. Colocar a espoleta, com a extremidade fechada para o lado da carga, junto ao cordel detonante, a 15 cm de sua extremidade, apertar o clipe conforme indica a figura. Dobrar a calha sobre lingueta, de modo que a conexão fique bem segura.

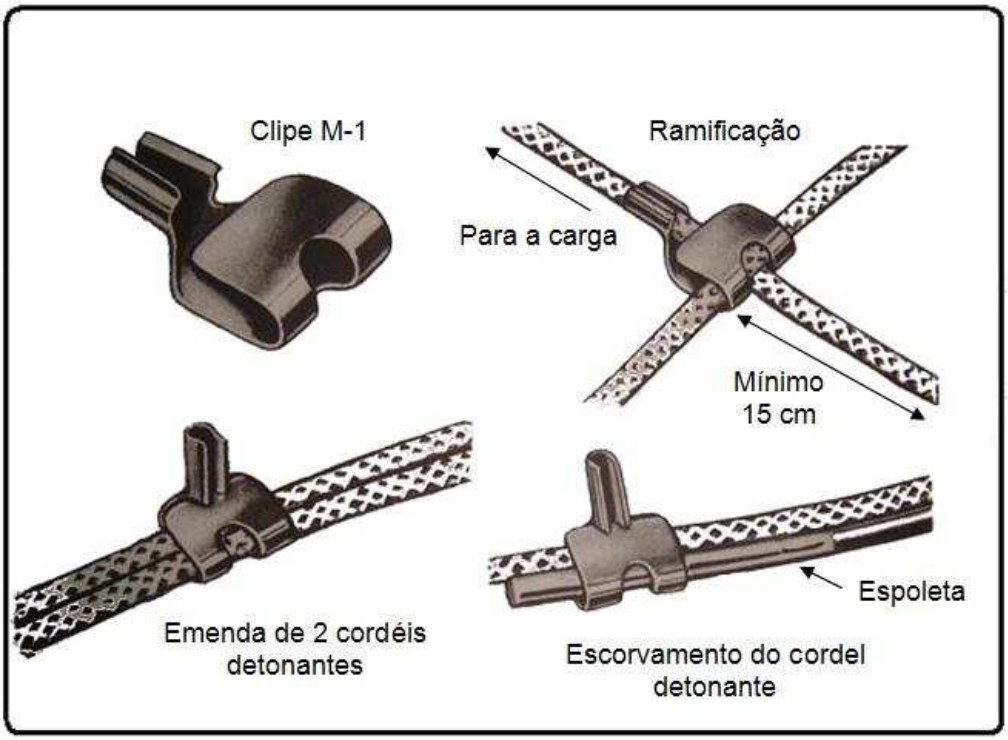


Fig 4-24. Conexões utilizando Clipe M-1

(2) Utilização do cordel detonante

(a) Emenda entre duas pontas (linha tronco ou dentro das ramificações).

1) Para realizar esta emenda utiliza-se o nó direito (Fig 4-25).

2) Tomar a precaução de deixar as pontas menores do nó com um comprimento mínimo de 15 cm a 20 cm (um palmo).

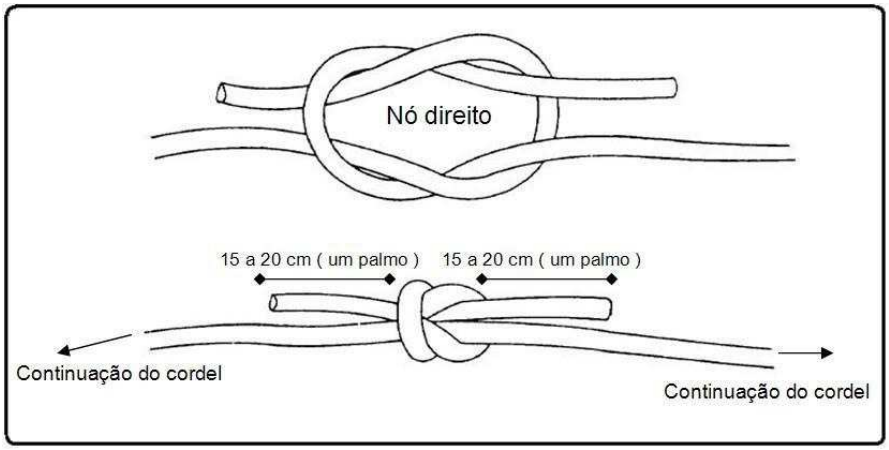


Fig 4-25. Conexões entre duas pontas

(b) Conexão com ramificações

1) A conexão de ramificações secundárias com uma linha principal (Fig 4-22) de cordel detonante pode ser feita com o auxílio do clipe M1 ou por meio de um nó boca-de-lobo com uma volta extra (Fig 4-26 e Fig 4-27).

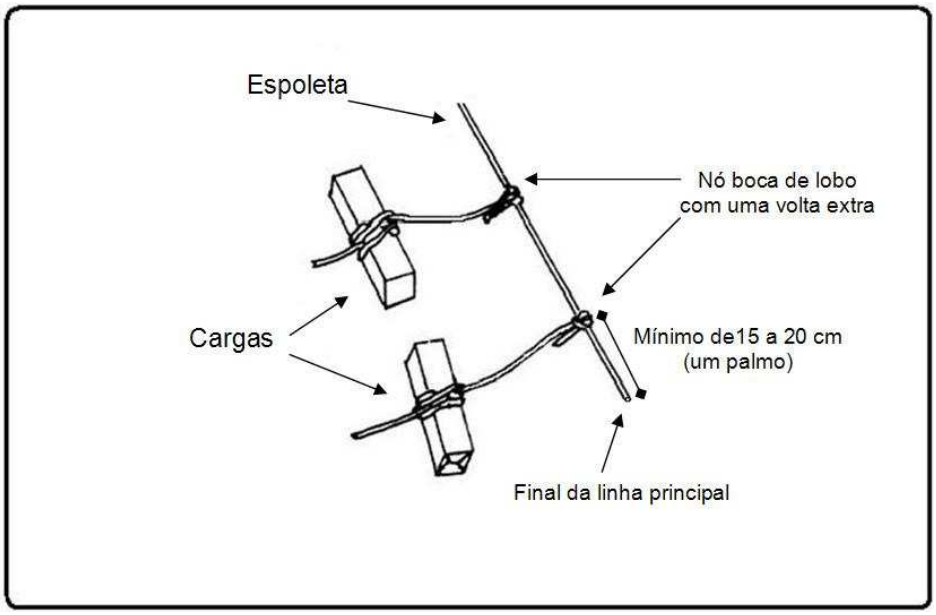


Fig 4-26. Linha principal com duas ramificações

(2) O ângulo formado pela ramificação com a linha principal não deve ser menor do que 90°, em relação à direção de onde deverá vir a explosão inicial.

(3) Deixar livre, pelo menos, cerca de 15 cm a 20 cm (um palmo) de cordel detonante, depois do nó.

(4) Este processo é utilizado quando se deseja o acionamento simultâneo de várias cargas.

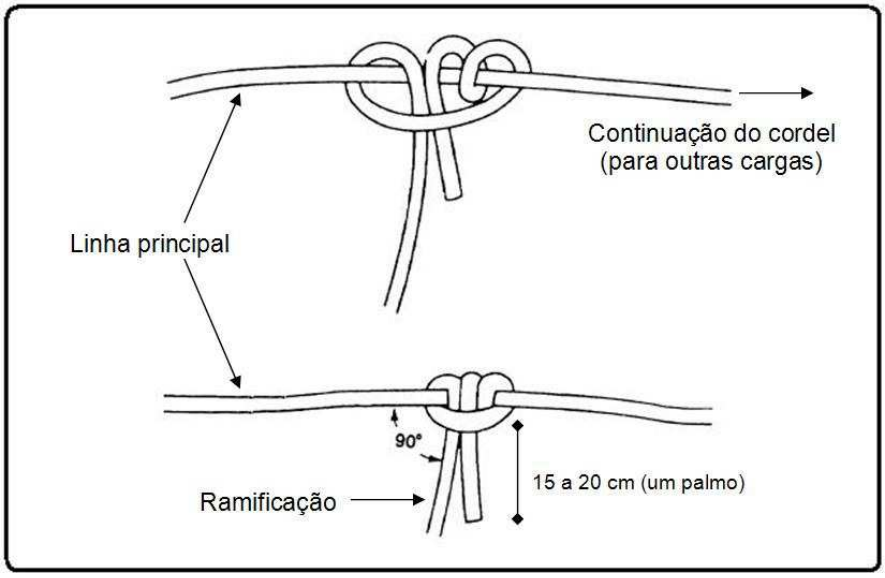


Fig 4-27. Conexões com ramificações

(c) Conexão com anel (Fig 4-28).

1) Formar o anel com a própria linha principal, ligando-a a si mesma, antes da primeira ramificação, com um nó boca-de-lobo com uma volta extra.

2) Este processo permite detonar um número ilimitado de cargas. O anel possibilita maior segurança na detonação das cargas porque a onda explosiva alcança as ramificações por duas direções.

3) As ramificações devem ser perpendiculares à linha principal.

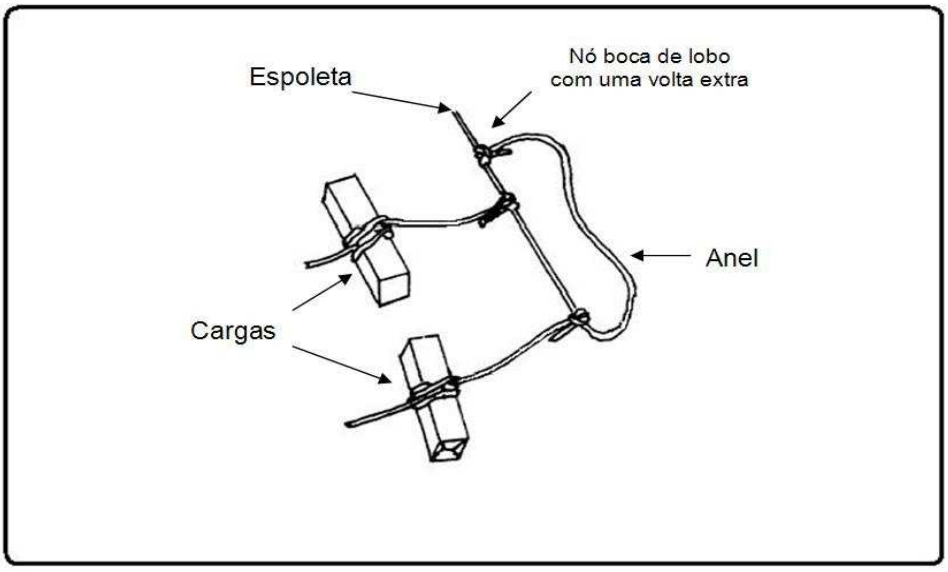


Fig 4-28. Conexões com anel

(d) Conexão de junções de cordel detonante (Fig 4-29).

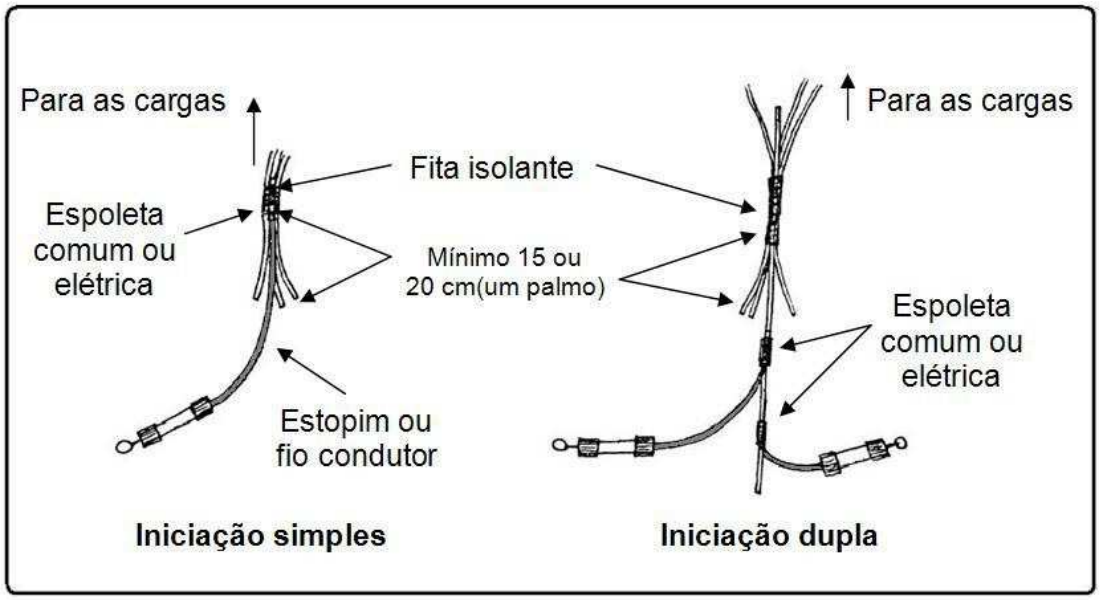


Fig 4-29. Conexões de junções de cordel

d. Precauções ao usar o cordel detonante

(1) As voltas realizadas com o cordel detonante utilizado na linha principal de lançamento de fogo NÃO devem apresentar ângulos acentuados.

(2) NUNCA conectar uma ramificação próximo ao local onde já houver um nó no cordel detonante.

(3) EVITAR cruzar ramificações de cordel detonante. Se isto for necessário, deixar as duas linhas afastadas em no mínimo 30 cm.

(4) O revestimento do cordel NUNCA deve ser retirado.

(5) As conexões podem estar submersas ou sob a terra, mas a detonação do cordel DEVE ser iniciada de um local seco.

5. SISTEMAS DE LANÇAMENTO DE FOGO

Existem dois tipos de sistemas de lançamento de fogo: simples e duplo.

a. Sistema simples de lançamento de fogo

(1) Generalidades

No sistema simples, cada carga iniciará somente por um meio (espoleta ou cordel detonante). Utilizando o cordel detonante, cada carga é iniciada por uma ramificação que está amarrada à linha principal. A conexão com anel diminui as possibilidades de da ocorrência de falha, pois a onda de choque seguirá um caminho alternativo caso ocorra uma ruptura ou corte em algum lugar da linha principal (Ver Prf 4-4).

(2) Tipos

(a) Iniciação simples – iniciado por um processo de lançamento de fogo (Fig 4-30).

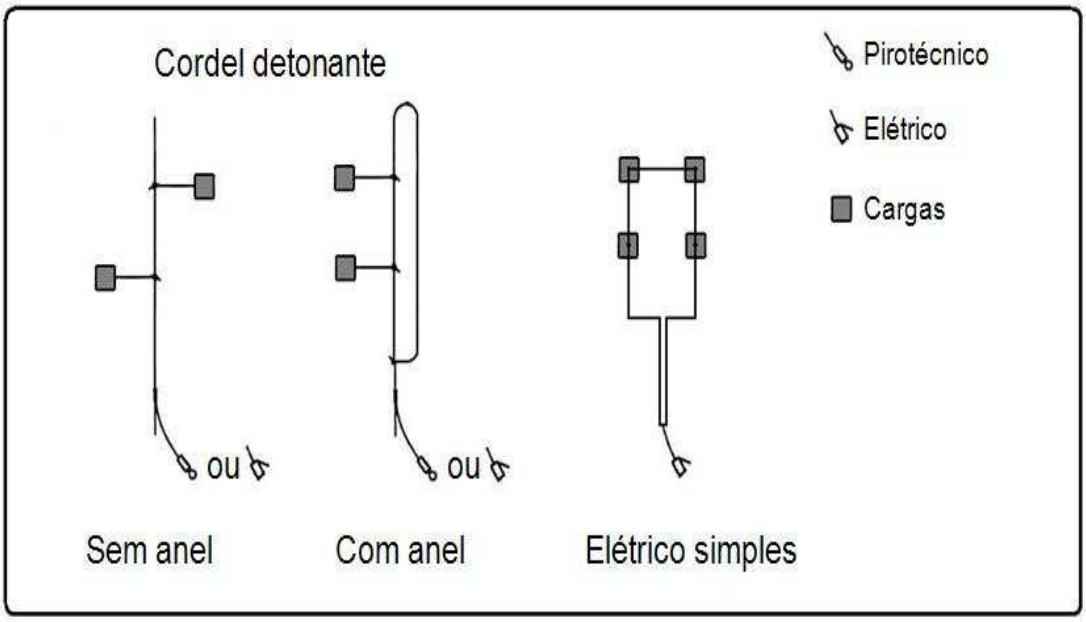


Fig 4-30. Sistemas simples de lançamento de fogo (Iniciação simples)

(b) Iniciação combinada - o cordel detonante poderá ter uma iniciação combinada utilizando dois processos (elétrico-elétrico, elétrico-pirotécnico, pirotécnico- pirotécnico) (Fig 4-31). O processo elétrico será sempre o principal meio de iniciação. Quando se usar dois processos pirotécnicos, o que tiver o estopim mais curto será o sistema principal. O principal meio de acionamento (Posição A – Fig 4-31) deve estar posicionado à retaguarda do meio secundário (Posição B – Fig 4-31), pois caso venha falhar, não interromperá a linha do cordel detonante (Fig 4-31).

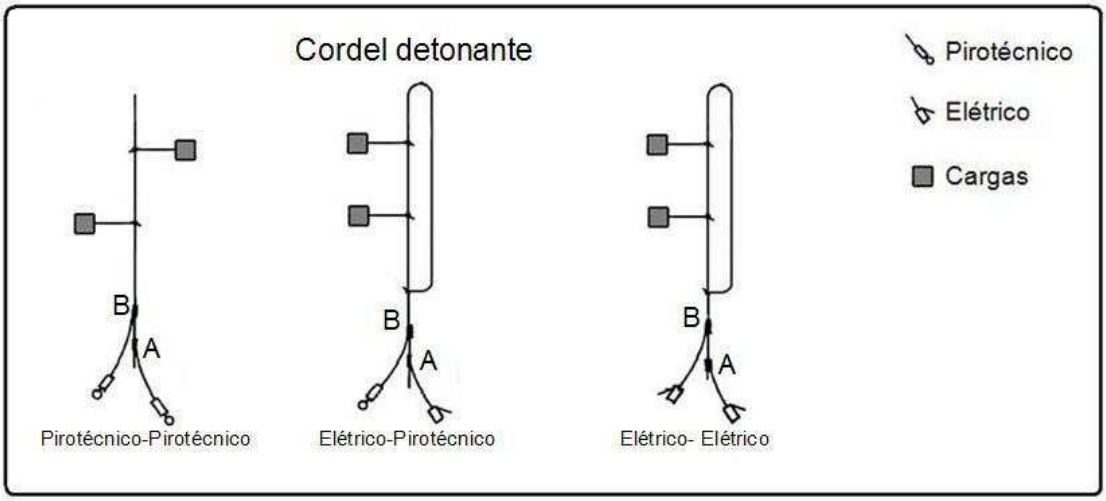


Fig 4-31. Sistemas simples de lançamento de fogo (Iniciação combinada)

b. Sistema duplo de lançamento de fogo

(1) Generalidades

(a) Devem ser tomadas todas as precauções para se evitar falhas no lançamento de fogo das cargas explosivas. Na instrução, estas falhas desperdiçam

valioso tempo e acarretam perigo para a vida daqueles que são escalados para investigação das causas. No combate, as falhas podem causar a perda de batalhas.

(b) Estas falhas podem ser diminuídas ou mesmo suprimidas com o uso do duplo lançamento de fogo. Sempre que possível, usar este processo.

(c) O sistema duplo de lançamento de fogo consiste em dois sistemas de lançamento de fogo completamente independentes, cada um capaz de acionar as mesmas cargas.

(d) Os dois sistemas de lançamento de fogo DEVEM ser mantidos separados, para que ambos não sejam cortados por um mesmo projétil ou estilhaço de granada.

(e) Os pontos de acionamento também DEVEM estar em locais separados, para evitar que a destruição de um deles impeça o cumprimento da missão.

(2) Tipos de iniciação

(a) Duplo pirotécnico

1) Este processo consiste em dois dispositivos de lançamento de fogo independentes, para acionar uma só carga ou um conjunto de cargas (Fig 4-32).

2) Quando houver necessidade de serem acionadas várias cargas simultaneamente, DEVE-SE empregar o cordel detonante com a conexão em anel e ligar cada carga a esta conexão.

3) De cada conexão em anel DEVE sair uma ramificação que será acionada por uma escorva pirotécnica.

4) Os cordéis detonantes DEVEM ser mantidos separados de no mínimo 30 cm.

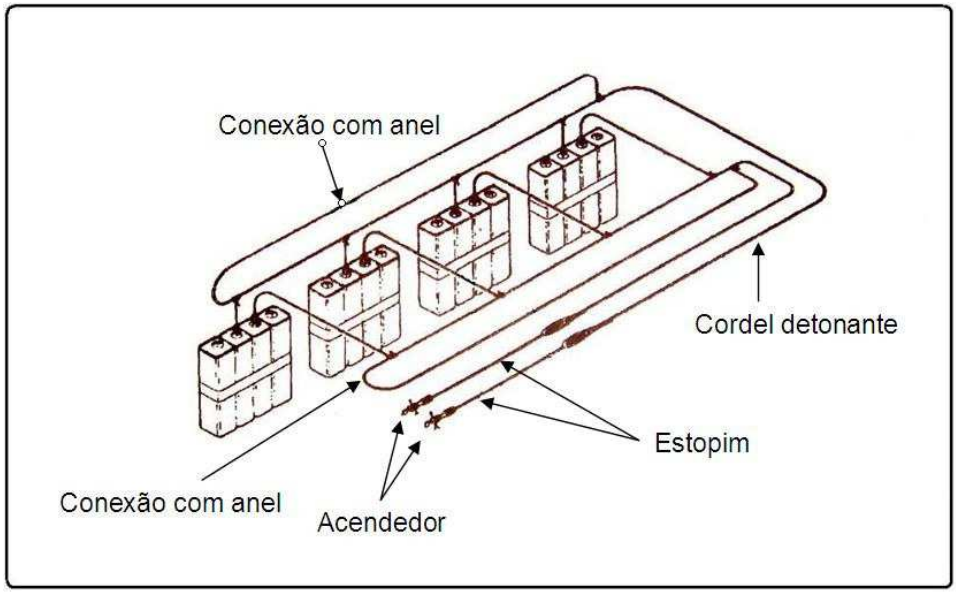


Fig 4-32. Sistema duplo pirotécnico

b) Duplo elétrico

1) Este processo consiste em dois sistemas elétricos de lançamento de fogo independentes, para acionar uma só carga ou um conjunto de cargas (Fig 4-33).

2) Em cada circuito deve haver, para cada carga, uma espoleta elétrica, de modo que o acionamento de um dos circuitos provoque a explosão de todas as cargas; desta forma, cada carga receberá dois escorvamentos elétricos.

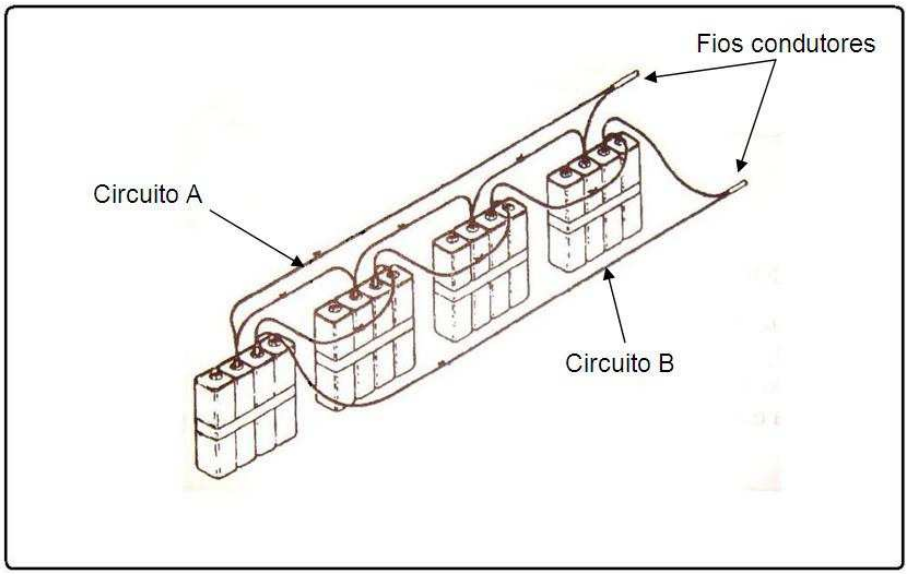


Fig 4-33. Sistema duplo elétrico

c) Duplo Misto

1) Este processo consiste na combinação de um circuito pirotécnico de lançamento de fogo com um circuito elétrico num mesmo conjunto (Fig 4-34).

2) Cada carga contém uma escorva pirotécnica e uma elétrica. As escorvas pirotécnicas DEVEM ser feitas com cordel detonante.

3) O sistema pirotécnico deve ser acionado primeiro.

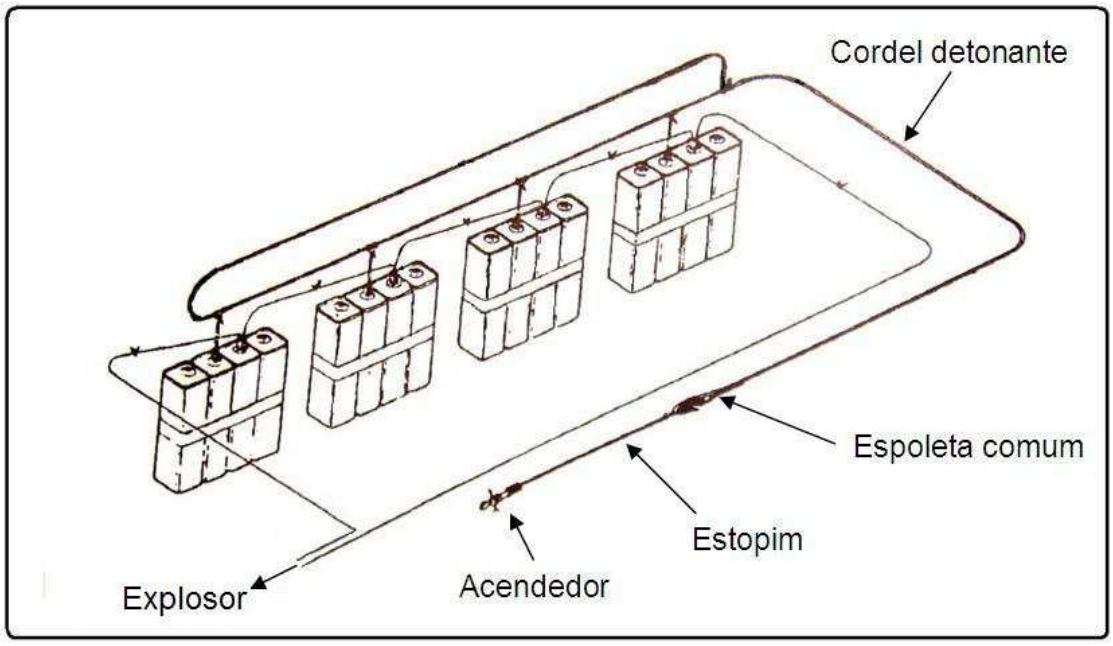


Fig 4-34. Sistema duplo misto

6. ESCORVAMENTO DAS CARGAS

a. Escorvamento de petardos

(1) Escorvamento Pirotécnico

(a) Com adaptador de escorva - quando os petardos tiverem orifício de escorvamento e se dispuser de adaptadores de escorva, utilizá-los para fixar a espoleta comum com o seu estopim no interior do petardo (Fig 4-35 e 4-39).

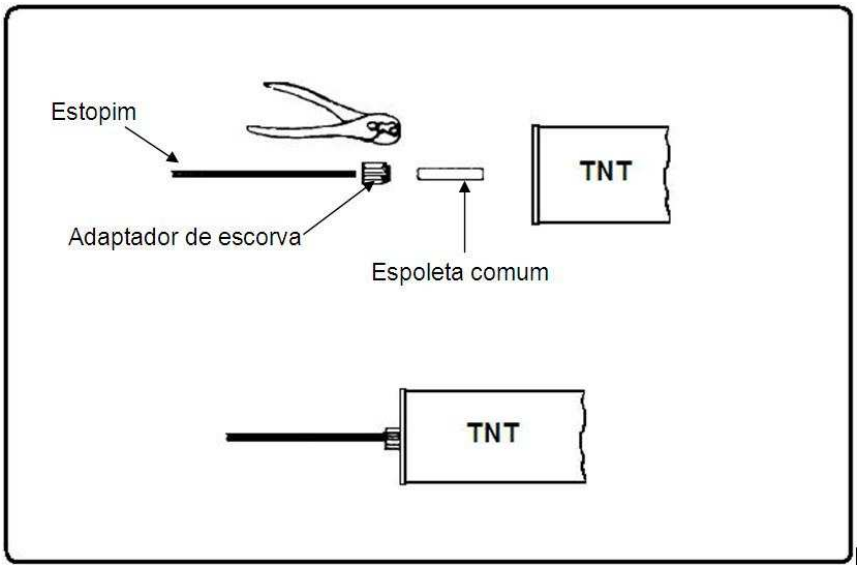


Fig 4-35. Escorvamento pirotécnico com adaptador de escorva

(b) Sem adaptador de escorva - quando não se dispuser de adaptador de escorva, ou quando o petardo não possuir orifício de escorvamento, agir da seguinte forma (Fig 4-36):

1) se o petardo não possuir orifício de escorvamento, fazer um orifício bastante grande para conter a espoleta, utilizando, para isso, a punção existente no cabo do alicate de estriar. Não forçar a espoleta para dentro do petardo; se ela não entrar totalmente ou entrar com dificuldade, removê-la e alargar o orifício;

2) passar um cordão, arame ou fita isolante ao redor do petardo e amarrá-lo próximo ao orifício de escorvamento, deixando as pontas livres com aproximadamente 20 cm (um palmo), ou amarrar primeiro o estopim e depois fixá-lo ao petardo;

3) introduzir no orifício de escorvamento a espoleta já estriada no estopim, e

4) amarrar o cordão ao redor do estopim, para evitar a saída da espoleta por uma tração qualquer.

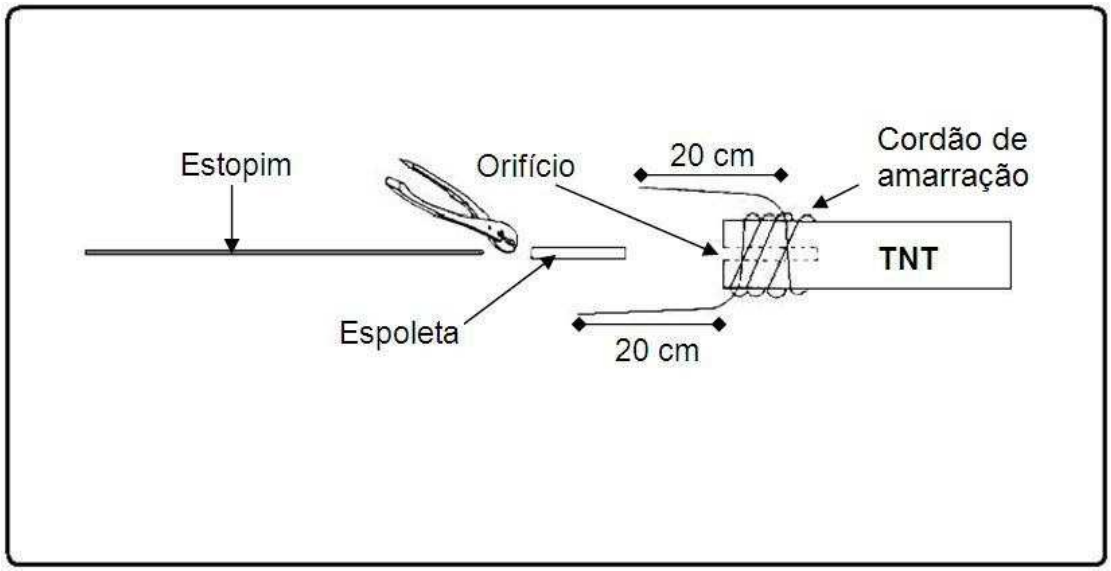


Fig 4-36. Escorvarmento pirotécnico sem adaptador de escorva

(2) Escorvamento Elétrico

(a) Com adaptador de escorva (Fig 4-37 e 4-39)

1) Passar o fio da espoleta pelo rasgo existente no adaptador de escorva e acondicionar a espoleta no adaptador.

2) Introduzir a espoleta no interior da carga explosiva e atarraxar o adaptador no orifício de escorvamento do petardo.

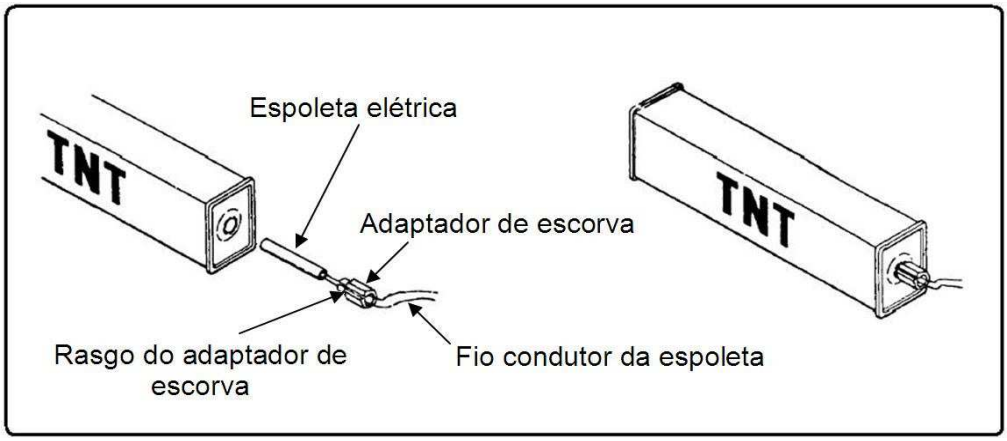


Fig 4-37. Escorvarmento elétrico com adaptador de escorva

(b) Sem adaptador de escorva (Fig 4-38)

1) Introduzir a espoleta no orifício de escorvamento do petardo.

2) Amarrar os fios condutores da espoleta em torno do petardo. Deixar uma folga nos fios condutores entre a espoleta e o nó, para evitar uma tração acidental diretamente sobre a espoleta.

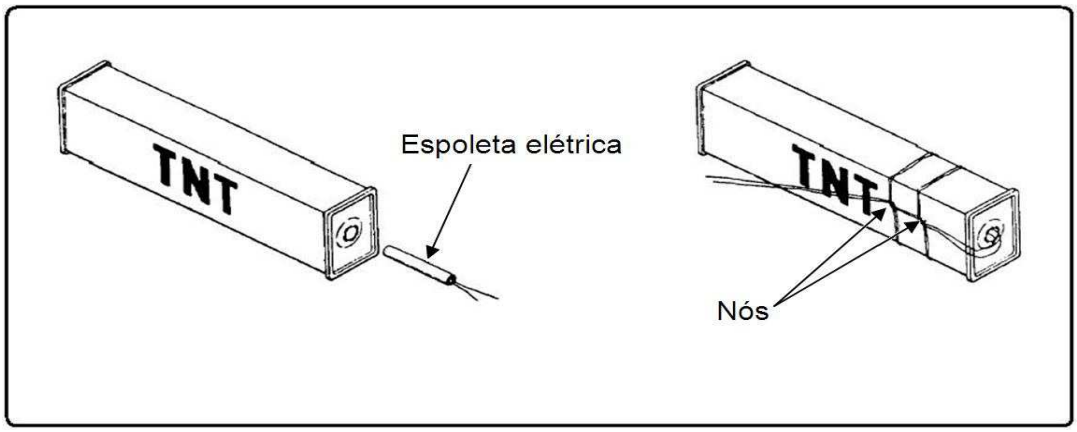


Fig 4-38. Escorvamento elétrico sem adaptador de escorva

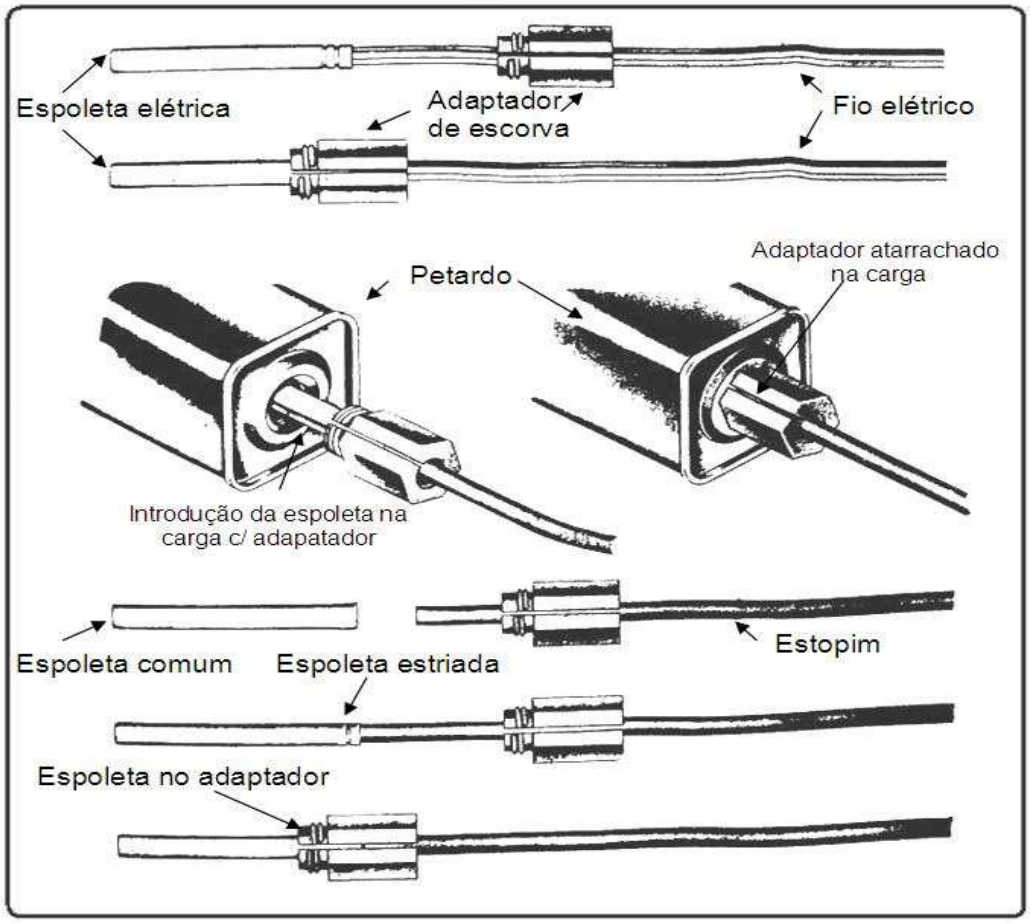


Fig 4-39. Uso do adaptador de escorva M1A4

(3) Escorvamento com o cordel detonante

(a) Um pedaço de 15 cm de cordel detonante tem uma força explosiva semelhante a uma espoleta comum. Entretanto, não tem a capacidade de detonar cargas explosivas, porque a sua explosão não é concentrada.

(b) A detonação do cordel detonante, em todos os processos, pode ser iniciada pelo processo elétrico ou pirotécnico de lançamento de fogo.

(c) Normalmente, um dos quatro processos, a seguir descritos, pode ser utilizado para escorvar um petardo de TNT:

1) Cordel detonante com espoleta comum

a) Fixar urna espoleta comum na extremidade do cordel detonante e introduzi-Ia no interior do petardo, tal como no escorvamento pirotécnico. Não forçar a introdução do cordel no interior da espoleta ou tampouco descascá-Io para facilitar a introdução.

b) Por razões de segurança, NÃO é recomendada a utilização deste processo, porque a explosão acidental da espoleta fará explodir toda a extensão de cordel detonante a que estiver interligada.

2) Cordel detonante envolvendo o petardo

a) O petardo deve ser envolvido com aproximadamente um metro de cordel detonante, que deverá dar, no mínimo, quatro voltas em torno do petardo. O cordel deve ser firmemente ajustado contra o petardo, ficando as laçadas bem unidas.

b) Existem três processos para envolver o petardo (Fig 4-40):

- **Processo 1:** Coloque uma extremidade (50 cm) de cordel detonante em um ângulo transversal ao explosivo. Então, faça três voltas no petardo colocando as voltas sobre esta extremidade. Na quarta volta, enfie a continuação sob todas as voltas, paralela à extremidade em contato com o petardo, apertando todas as voltas firmemente.

- **Processo 2:** Faça um nó de porco com duas voltas extras apertando e juntando as voltas.

- **Processo 3:** Coloque um laço de cordel detonante sobre o petardo deixando um comprimento na extremidade suficiente para fazer quatro voltas em torno do bloco. Dê quatros voltas em cima do laço a partir da base até a alça do laço. No final, enfie a extremidade dentro da alça puxando firmemente com a extremidade livre da alça.

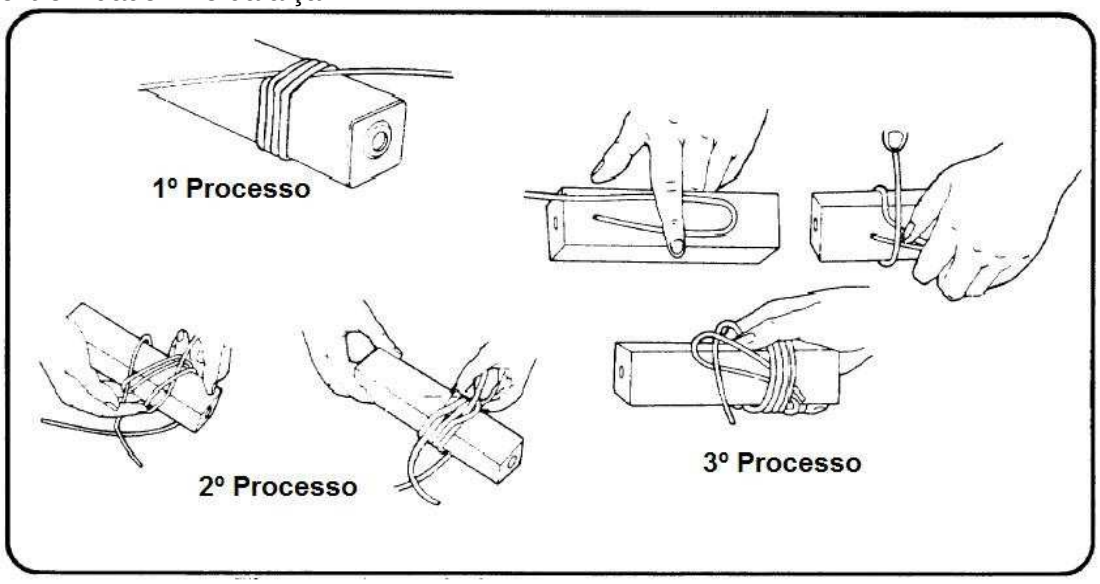


Fig 4-36. Escorvamento com o cordel detonante envolvendo o petardo.

b. Escorvamento de cargas cilíndricas pastosas (dinamite, emulsão e gelatinas)

(1) Generalidades

As dinamites, emulsões e gelatinas podem ser escorvada na extremidade ou lateralmente. Escorva-se na extremidade quando a colocação da carga não necessitar enchimento, e lateralmente quando a carga for colocada em um fornilho, para evitar dano à escorva durante a colocação do enchimento.

(2) Tipos de escorvamento

(a) Escorvamento Pirotécnico - há três processos:

1) Escorvamento pela extremidade (Fig 4-41)

a) Fazer um orifício na extremidade do cartucho com a punção do alicate de estriar, ou um pedaço de madeira.

b) Introduzir, no orifício, uma espoleta estriada a um estopim. c)

Amarrar a escorva no cartucho.

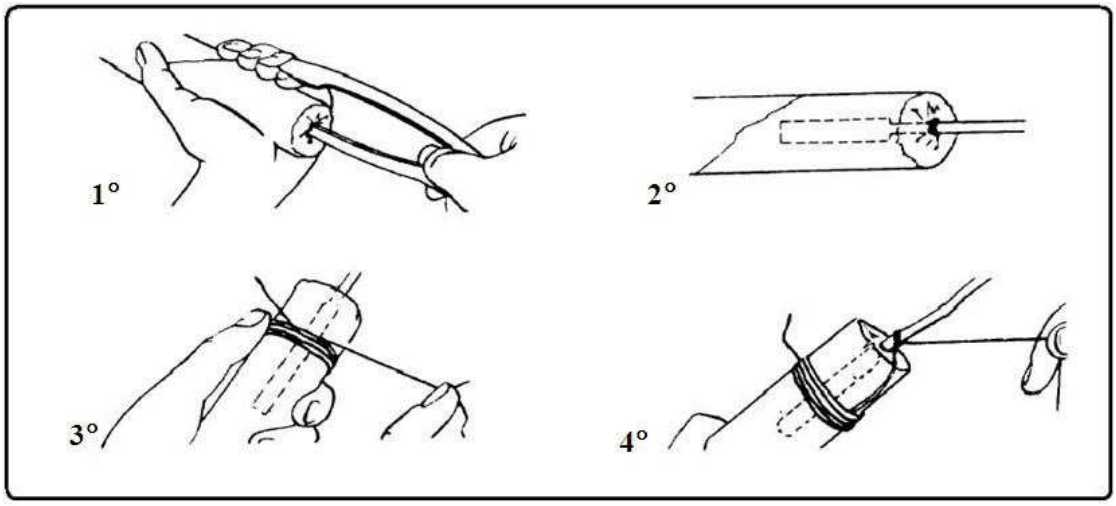


Fig 4-41. Escorvamento pirotécnico da dinamite pela sua extremidade

2) Escorvamento pela extremidade à prova de água (Fig 4-42).

a) Abrir o papel de uma das extremidades do cartucho.

b) Fazer um orifício na parte descoberta do explosivo.

c) Introduzir uma espoleta estriada a um estopim, no orifício.

d) Amarrar o papel, firmemente, em torno do estopim.

e) Aplicar um composto vedante, à prova de água, na parte recém-fechada.

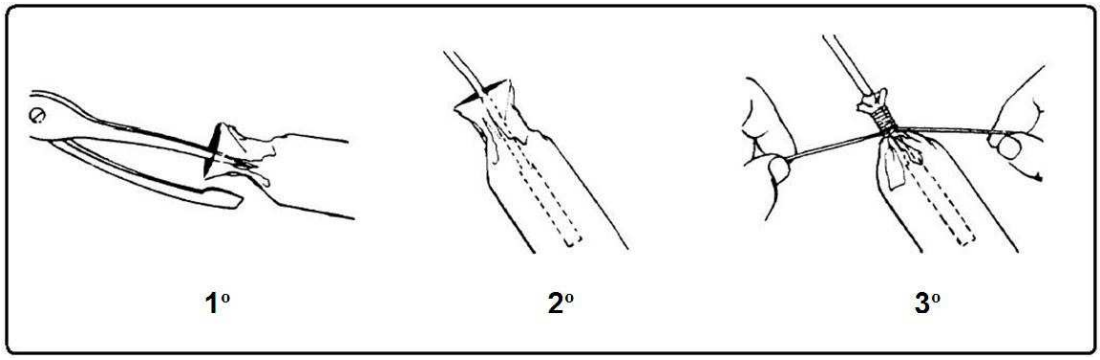


Fig 4-42. Escorvamento pirotécnico da dinamite, tornando-o à prova de água

3) Escorvamento lateral (Fig 4-43).

a) Fazer um orifício no cartucho, a 4 cm de uma das extremidades. O orifício deve ser feito numa direção tal que a espoleta, ao ser introduzida, fique quase paralela à superfície do cartucho, com a sua extremidade fechada (ponta), aproximadamente no meio do cartucho.

b) Introduzir no orifício uma espoleta estriada em um estopim.

c) Amarrar um cordão, fortemente, em torno do estopim e depois em torno do cartucho, dando duas ou três voltas, antes de dar o nó final.

d) Este escorvamento pode ficar à prova de água usando-se um cordão comprido, enrolado em redor do cartucho, até que o orifício fique perfeitamente coberto, num espaço de aproximadamente 3 cm para cada lado do orifício, e cobrindo-se o cordão com um composto vedante.

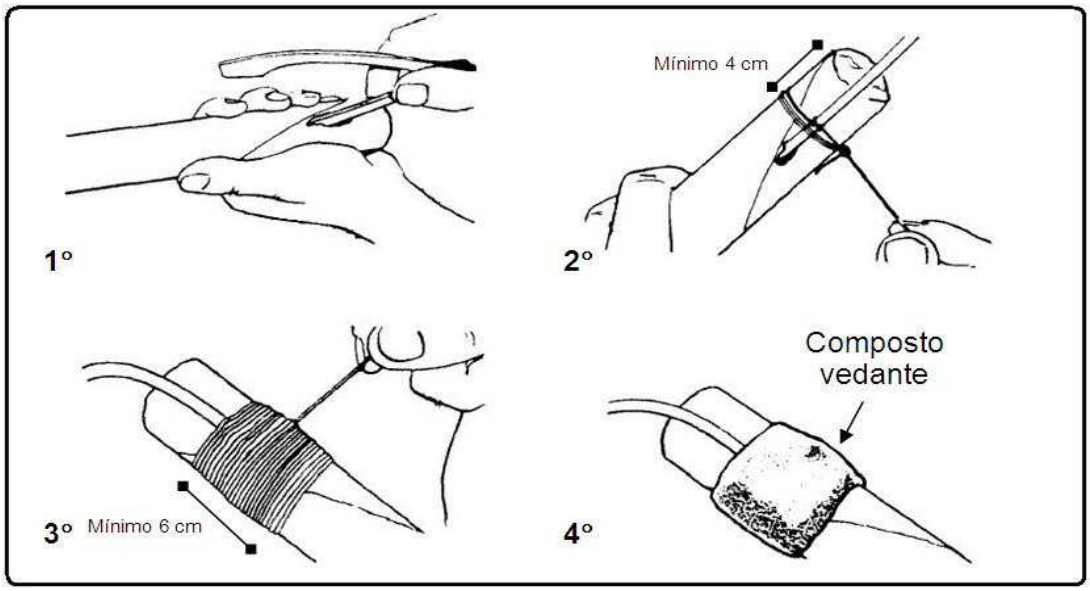


Fig 4-43. Escorvamento pirotécnico da dinamite pela sua lateral.

(b) Escorvamento Elétrico

1) O escorvamento elétrico de uma dinamite também pode ser feito na sua extremidade (Fig 4-44) ou lateralmente (Fig 4-45).

2) Os procedimentos são semelhantes ao já explanado quando da apresentação do escorvamento pirotécnico.

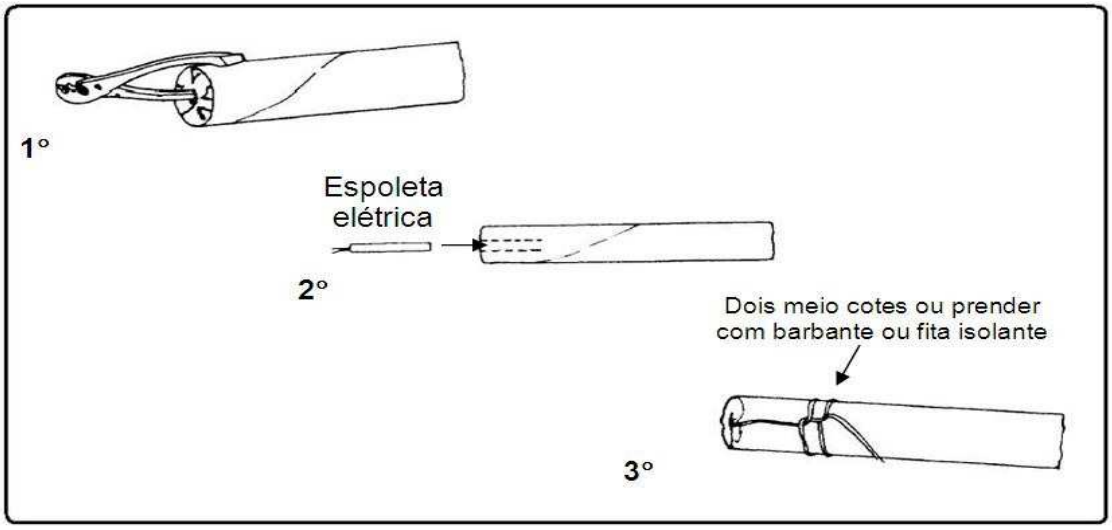


Fig 4-44. Escorvamento elétrico da dinamite pela sua extremidade

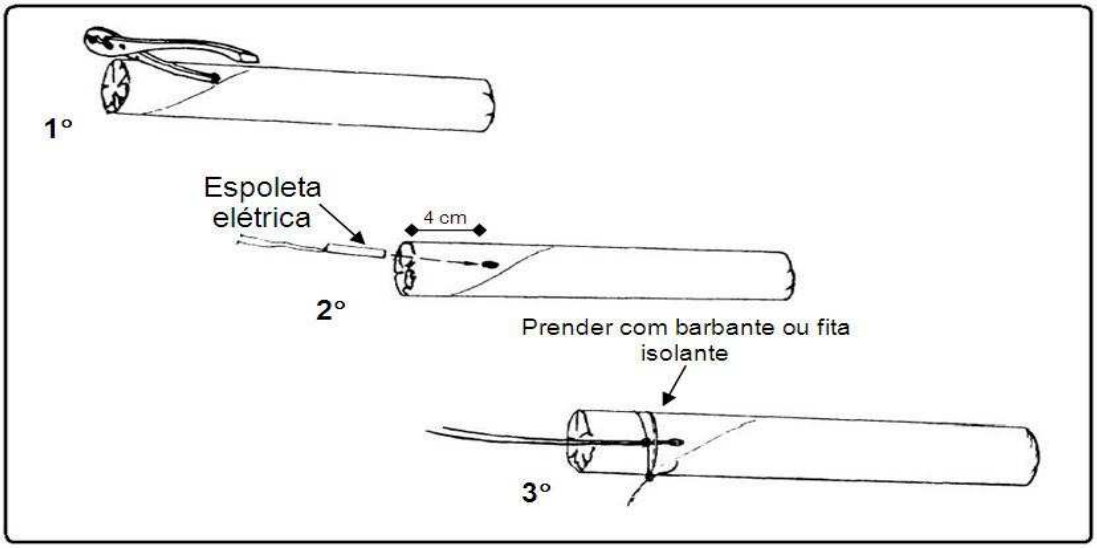


Fig 4-45. Escorvamento elétrico da dinamite pela sua lateral

(c) Escorvamento com sistema “NONEL”

Deverá proceder da mesma forma que o escorvamento pirotécnico.

(d) Escorvamento com cordel detonante

1) Fazer quatro perfurações, igualmente espaçadas, através da lateral do cartucho de dinamite.

2) Passar, através delas, o cordel detonante como mostrado na Fig 4-46 e posteriormente ajustá-Io firmemente, tracionando-o pela ponta onde será fixado o dispositivo elétrico ou pirotécnico de lançamento de fogo.

3) Este processo é, normalmente, utilizado em fornilhos, abertura de buracos ou remoção de entulhos.

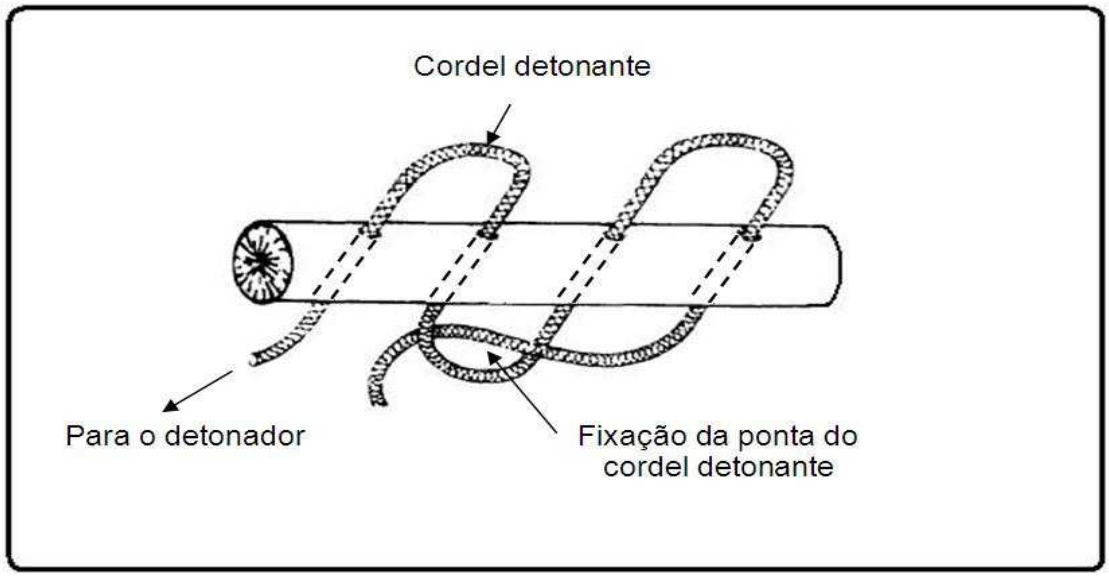


Fig 4-46. Escorvamento da dinamite usando o cordel detonante

(d) Escorvamento de emulsão para o desmonte de rocha

1) Quando se utilizar a emulsão encartuchada sempre escorve a espoleta (sistema “NONEL” e elétrico) no cartucho voltada para a coluna explosiva (Fig 4-47).

2) Sempre utilize os cartuchos de emulsão com diâmetros compatíveis ao diâmetro do furo permitindo seu total preenchimento.

3) Quando utilizar o cordel detonante sempre utilize NP-5 ou maior para iniciar o cartucho de emulsão. Para escorvá-la introduzir a ponta do cordel dentro do cartucho (Fig 4-48).

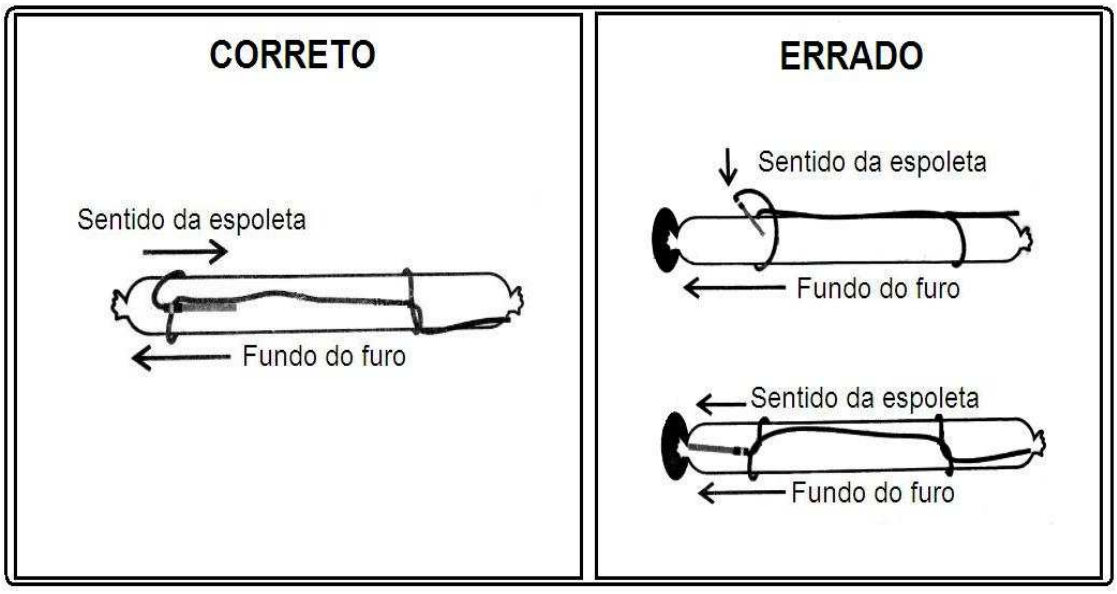


Fig 4-47. Escorvamento da emulsão encartuchada usando sistema “NONEL” ou elétrico

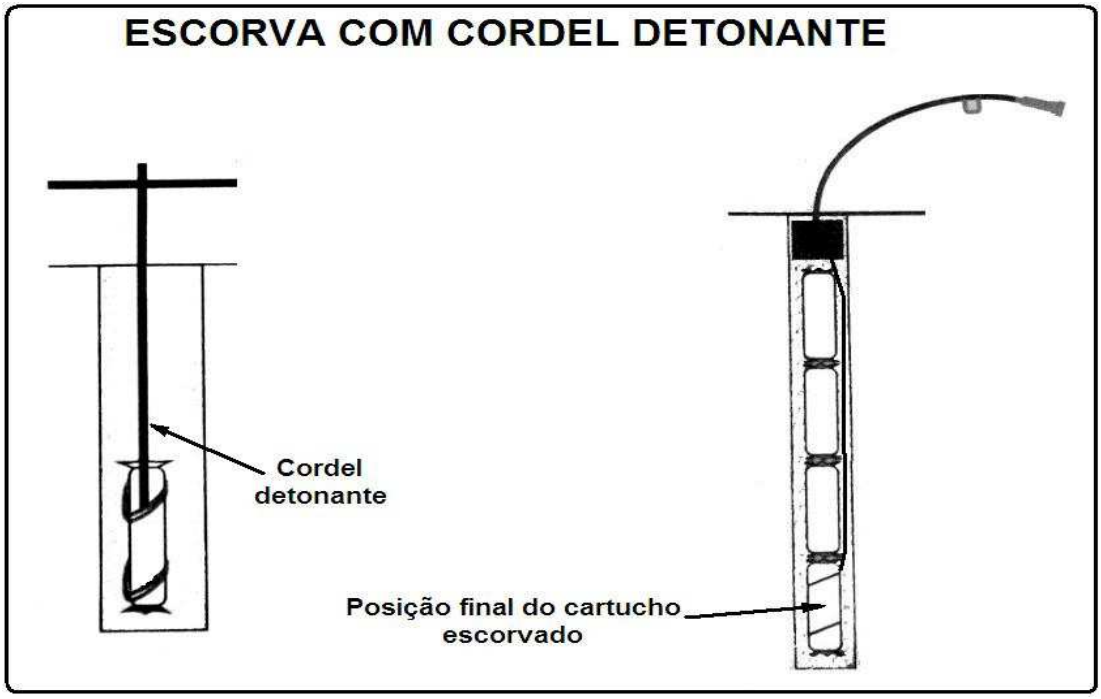


Fig 4-48. Escorvamento da emulsão encartuchada usando cordel detonante

c. Escorvamento da pólvora negra

(1) Escorvamento pirotécnico

(a) Pólvora negra de ruptura (em grãos) (Fig 4-49)

1) Dar um nó cego ou alemão na extremidade de um estopim. A partir do nó, fazer vários entalhes, com aproximadamente 5 cm de distância entre si, num comprimento tal que não exceda a 2/3 da parte interna do cartucho de pólvora negra. O uso da espoleta na extremidade do estopim é opcional.

2) Preencher um cartucho com pólvora de ruptura até atingir 1/3 da sua altura.

3) Introduzir o estopim no interior do cartucho até que o nó atinja a camada de pólvora.

4) Completar o cartucho com pólvora, até que ela atinja 5 cm da sua extremidade.

5) Amarrar fortemente a boca do cartucho, com o cordão prendendo também o estopim.

(b) Pólvora prensada (Fig 4-49)

1) Abrir um orifício em cada extremidade do cartucho de pólvora.

2) Cortar, em bisel, uma das extremidades do estopim; fazer ainda 3 a 4 entalhes no mesmo, intervalados de aproximadamente 5 cm a partir da ponta biselada.

3) Introduzir o estopim através do cartucho, onde já existe um orifício central percorrendo todo o tubo, até que a sua ponta saia na outra extremidade.

4) Dobrar a ponta em bisel na direção do lado não cortado e puxar o estopim pelo outro lado ele modo que a parte biselada retorne para o interior do cartucho. O uso da espoleta na extremidade do estopim é opcional.

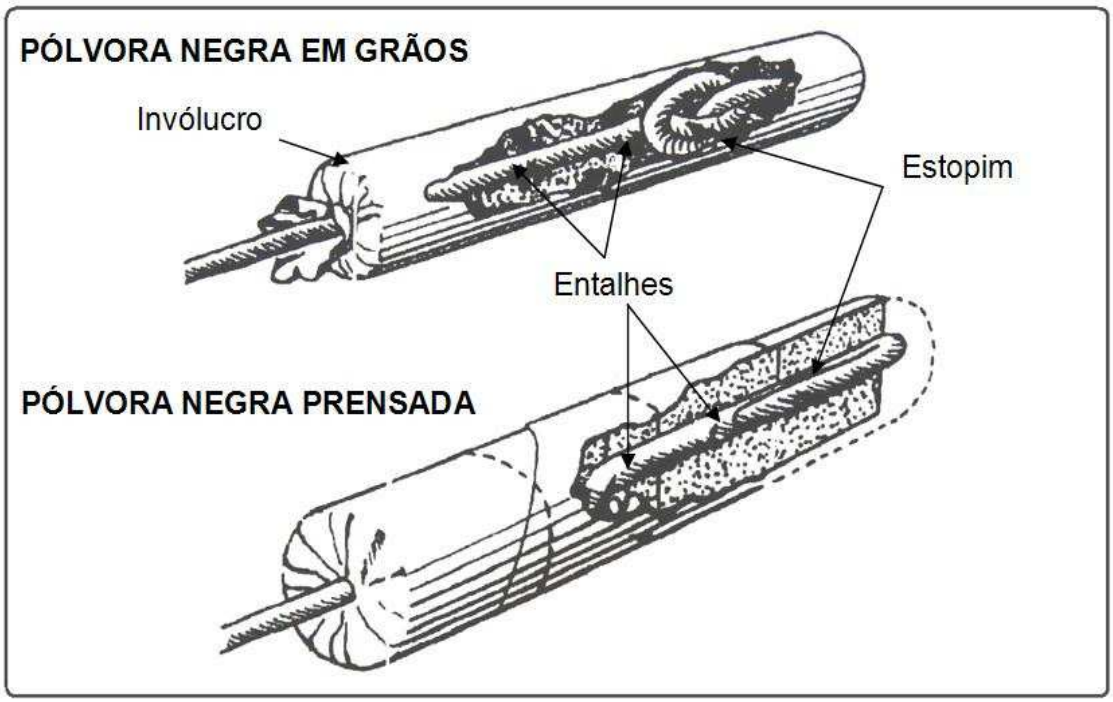


Fig 4-49. Escorvamento pirotécnico da pólvora negra

(2) Escorvamento Elétrico

(a) Pólvora Negra de Ruptura (em grãos) (Fig 4-50)

1) Encher, até o meio, um cartucho com pólvora e introduzir uma espoleta elétrica no centro.

2) Completar o cartucho com pólvora, deixando vazia uma parte da extremidade para permitir a amarração.

3) Amarrar a boca do cartucho, com o cordão prendendo também os condutores.

(b) Pólvora Prensada (Fig 4-50)

(a) Abrir um orifício em uma das extremidades do cartucho.

(b) Introduzir uma espoleta elétrica no orifício central do cartucho, até que se posicione na porção central do mesmo.

(c) Amarrar os fios condutores da espoleta em torno do cartucho. Deixar uma folga nos fios condutores entre a espoleta e o nó, para evitar uma tração acidental diretamente sobre a espoleta.

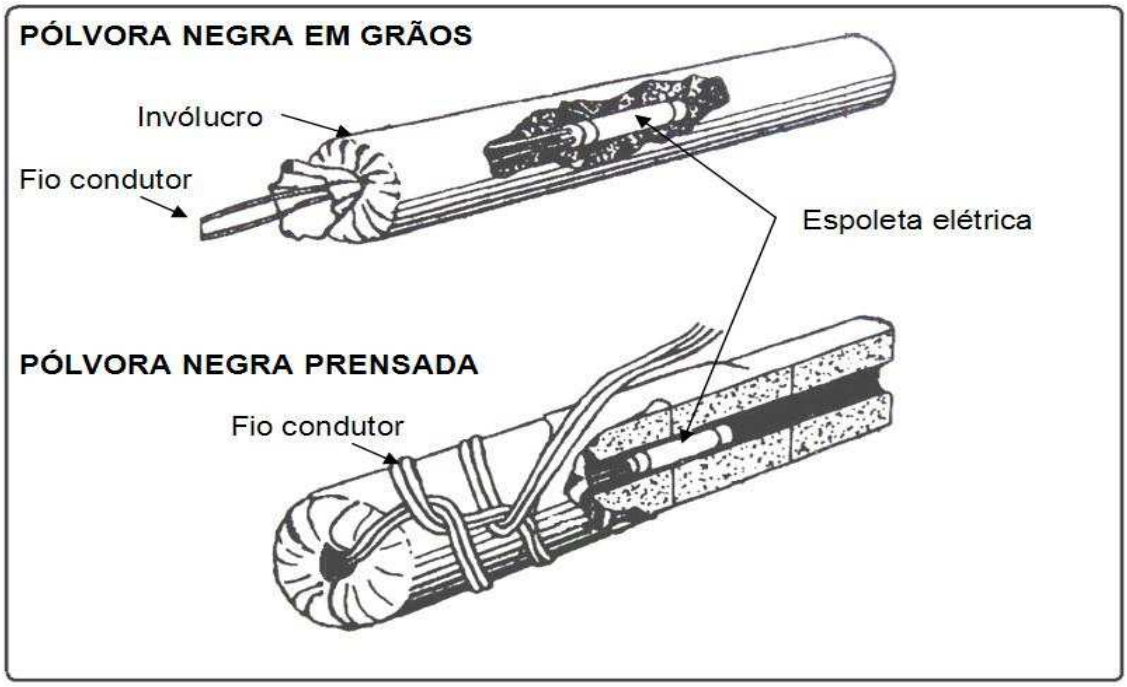


Fig 4-50. Escorvamento elétrico da pólvora negra

d. Escorvamento do Nitrato de Amônio

(1) Carga 25 kg

(a) Escorvamento Pirotécnico

1) Colocar a espoleta estriada a um estopim no alojamento para a espoleta existente na lateral da carga de nitrato de amônio.

2) Amarrar um cordão em redor do estopim e depois em torno do gancho existente acima do alojamento para a espoleta.

(b) Escorvamento Elétrico

Colocar a espoleta elétrica no alojamento para a espoleta da carga de nitrato de amônio e enrolar os condutores três vezes em volta do gancho existente acima do alojamento para a espoleta.

(c) Escorvamento com cordel detonante

1) Passar o cordel detonante através do alojamento existente na lateral da carga de nitrato de amônio.

2) Dar um nó simples ou alemão na extremidade do cordel detonante, deixando uma ponta livre de aproximadamente 20 cm (um palmo).

3) Na outra extremidade do cordel detonante deverá ser posta a carga de iniciação que poderá ser uma espoleta comum ou elétrica. Colocá-la a 20 cm (1 palmo) da extremidade.

4) **OBSERVAÇÃO:** quando se usam cargas de nitrato de amônio para abrir crateras, não se deve escorvá-las diretamente com espoleta comum ou

elétrica, mas sim com cordel detonante, pois sempre será empregada como carga subterrânea.

(d) Processo Duplo de Lançamento de Fogo

1) Prender um petardo de TNT de 500 g, escorvado, ao lado do alojamento para espoleta da carga de nitrato de amônio. Se não for possível colocar
o petardo lateralmente, colocá-lo na parte de baixo da carga.

2) Escorvar novamente o nitrato de amônio por um dos processos apresentados anteriormente.

(e) Observações

1) O nitrato de amônio ao absorver umidade se torna inerte.

2) Inspecionar sempre as latas de nitrato de amônio, para verificar
se não estão danificadas. As que apresentarem algum dano NÃO deverão ser usadas.

3) Evitar usar espoletas comuns ou elétricas junto à carga subterrâneas. Neste caso dar preferência ao uso de cordel detonante e/ou petardos.

(2) Em grãos (Fig 4-51)

O emprego do nitrato de amônio em grãos deverá ser de forma confinada, isto é, acondicionado dentro de um fornilho ou orifício e com uma cobertura (enchimento). O escorvamento do nitrato de amônio nesta forma será realizado por meio de um reforçador (booster). Caso não haja disponibilidade de reforçadores, pode-se utilizar petardos de TNT (mínimo 100g) com a mesma finalidade. O reforçador será iniciado pelo cordel detonante que estará interligado a outros reforçadores no caso de uma abertura de cratera. O cordel detonante será iniciado por processo pirotécnico, elétrico ou “NONEL”.

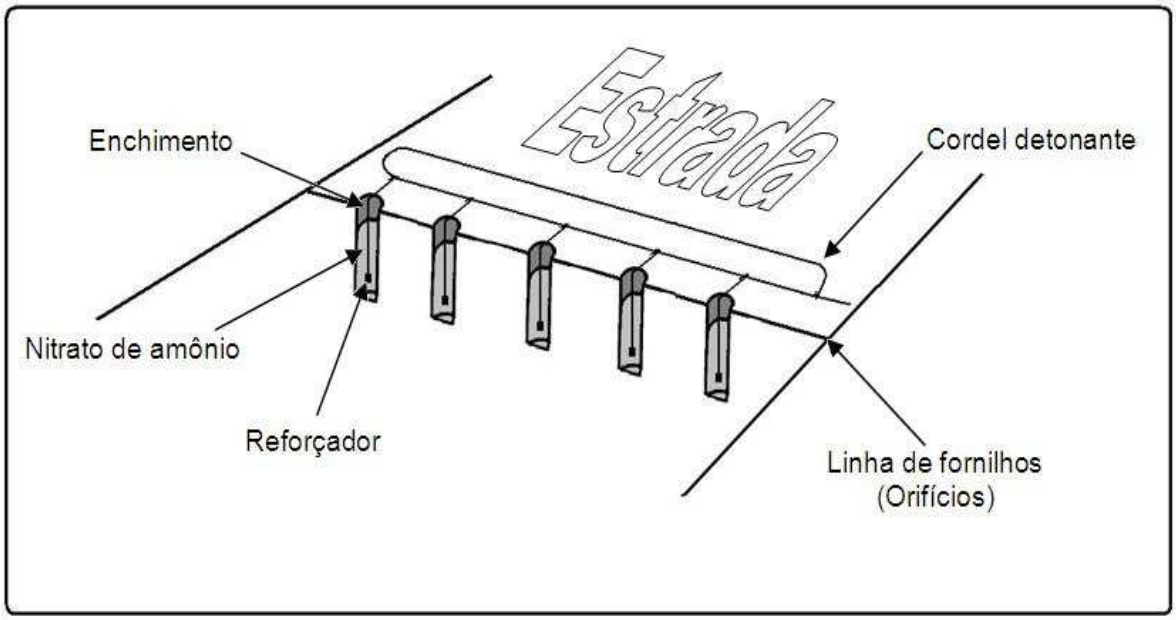


Fig 4-51. Escorvamento do Nitrato de Amônio em grãos (abertura de cratera)

e. Escorvamento de cargas dirigidas

(1) Retirar a tampa do alojamento do detonador (espoleta) e proceder conforme mostra a Fig 4-52.

(2) O processo duplo de lançamento de fogo não é aplicável às cargas dirigidas.

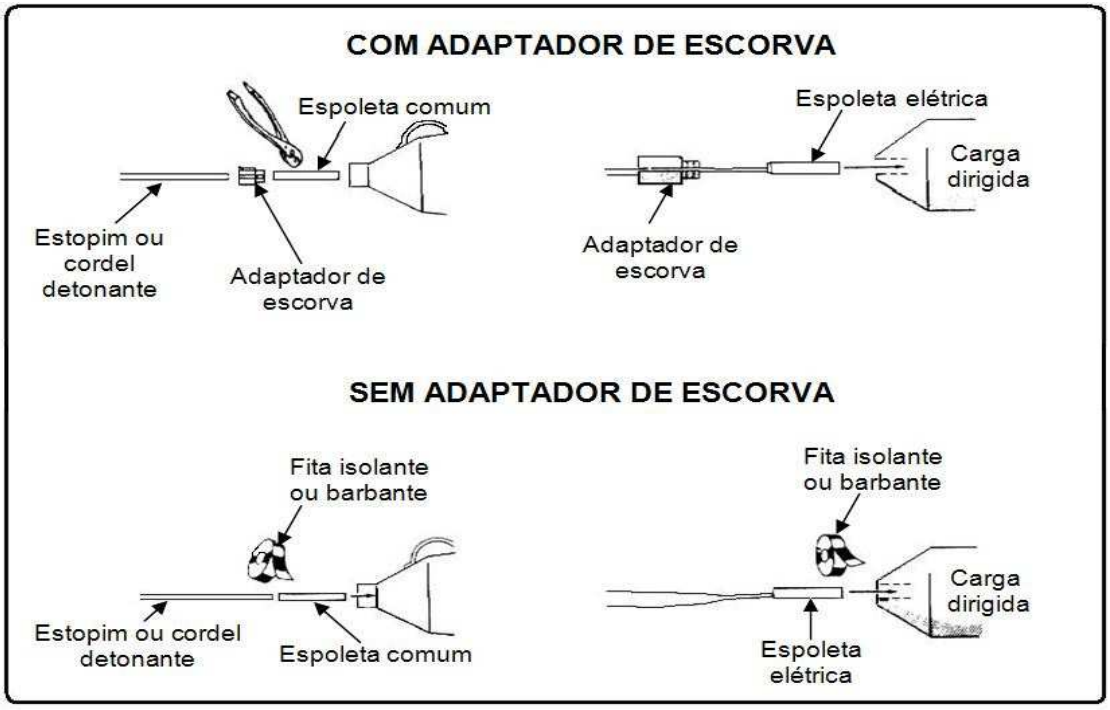


Fig 4-52. Escorvamento de cargas dirigidas

f. Escorvamento de torpedo Bangalore

O escorvamento do torpedo Bangalore é realizado conforme mostra a Fig 4-53 e Fig 4-54.

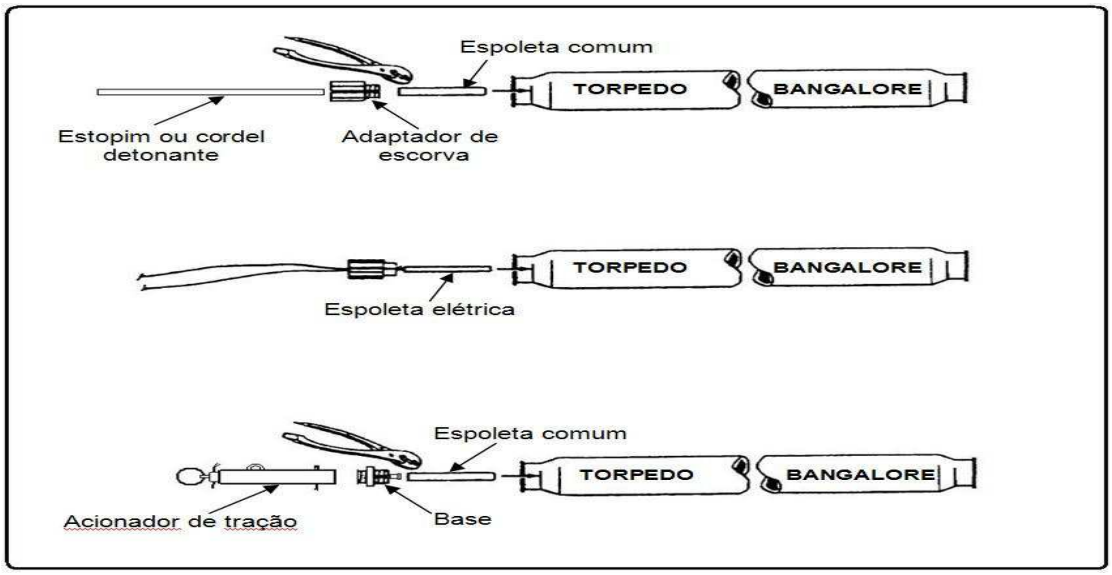


Fig 4-53. Escorvamento de torpedo Bangalore com espoleta

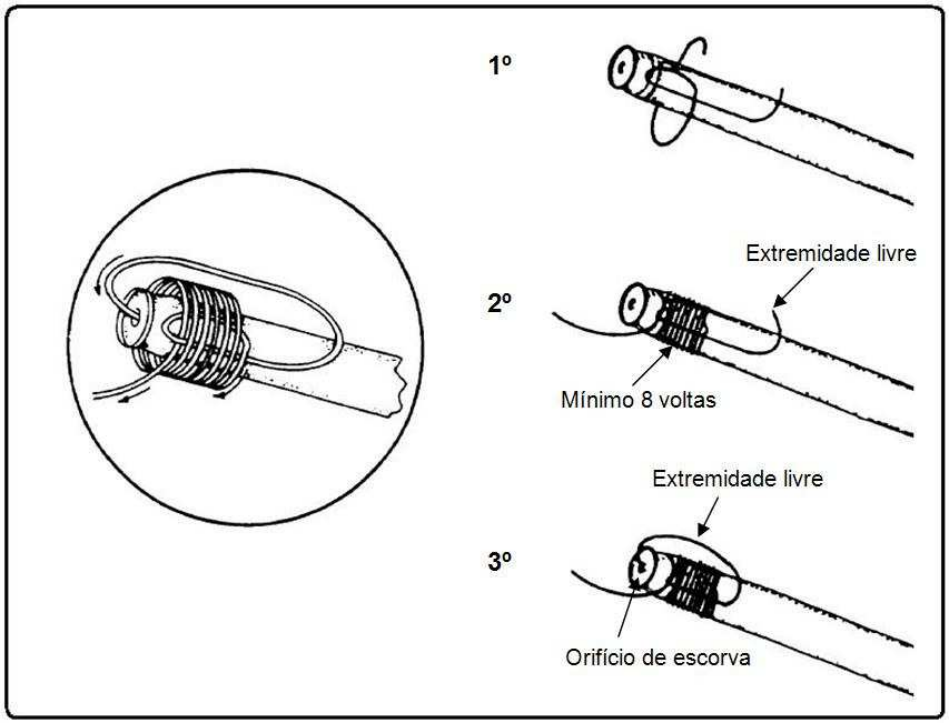


Fig 4-54. Escorvamento de torpedo Bangalore com cordel detonante

g. Escorvamento de explosivo plástico

(1) Escorvamento Pirotécnico (Fig 4-55)

(a) Moldar o explosivo em torno de uma espoleta estriada a um estopim, de modo que fique com uma espessura de no mínimo 2,5 cm além das extremidades da espoleta e de 1,5 cm em torno dela, para assegurar uma perfeita detonação da carga.

(2) Para evitar que a espoleta seja arrancada da massa explosiva, amarrar o estopim ao mesmo objeto a ser destruído pela carga.

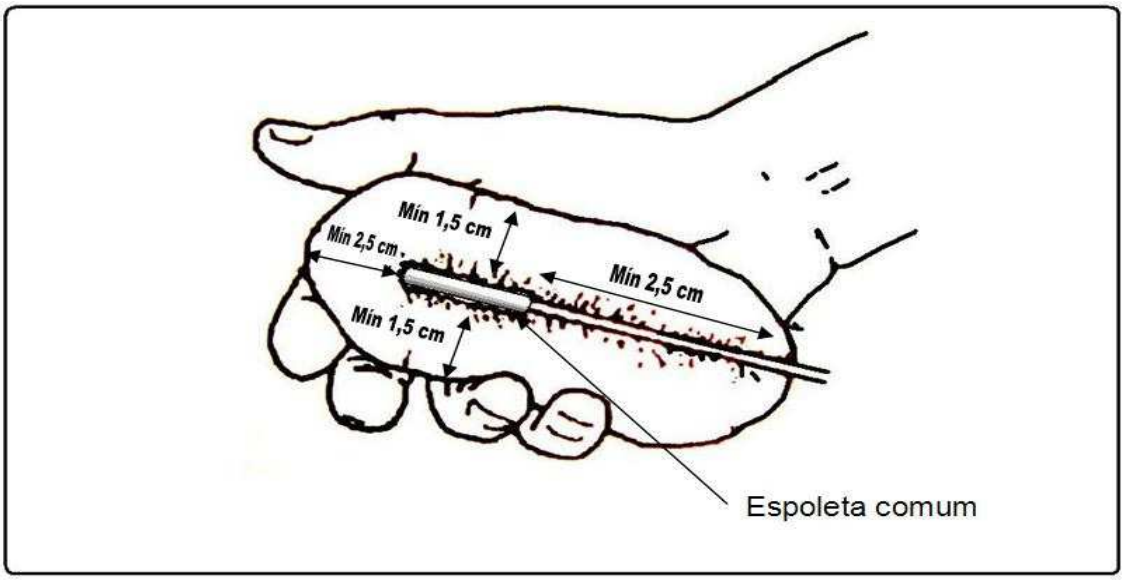


Fig 4-55. Escorvamento pirotécnico de explosivo plástico

(3) Escorvamento elétrico

Proceder de forma semelhante ao do escorvamento pirotécnico, substituindo a espoleta comum por uma elétrica.

(4) Escorvamento com cordel detonante

(a) O escorvamento de explosivos plásticos com cordel detonante é realizado com o auxílio dos nós mostrados na Fig 4-56.

(b) Introduzir o nó no interior do explosivo ou moldá-lo em torno do nó.

(c) Para assegurar uma perfeita detonação da carga, deixar, no mínimo, uma espessura de 2,5 cm além das extremidades do nó e 1,5 cm em torno dele.

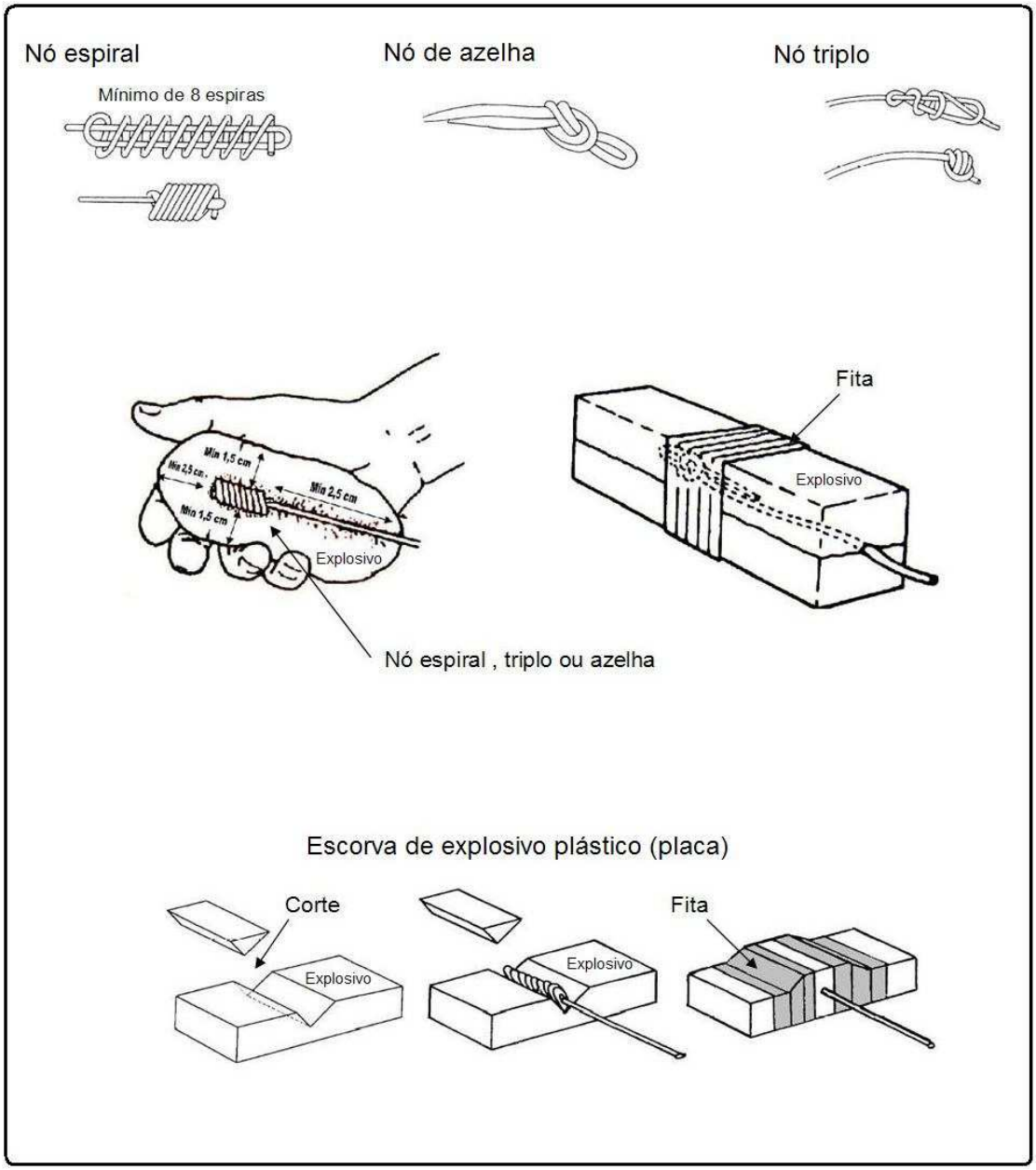


Fig 4-56. Escorvamento de explosivo plástico com cordel detonante

(d) Execução de nós

1) Nó espiral de cordel detonante

a) Formar um nó espiral (Fig 4-56), com no mínimo oito espiras, usando de 50 cm a 60 cm (três palmos) de cordel detonante e prendê-la firmemente na carga a ser detonada.

b) Este nó tem aproximadamente a potência explosiva de três a quatro espoletas.

2) Nó de azelha e triplo de cordel detonante

Formar um nó de azelha simples ou um nó triplo (Fig 4-56),

usando de 30 cm a 40 cm (dois palmos) de cordel detonante e proceder da mesma forma que o nó espiral.

h. Escorvamento de placas explosivas

(1) O escorvamento das placas explosivas pode ser feito com qualquer tipo de espoleta.

(2) Quatro processos de fixação da espoleta:

(a) Método 1 - fazer um talho de aproximadamente 4 cm de profundidade por 1 cm de largura na placa explosiva. Introduzir a espoleta na abertura. Fixar a espoleta com a própria placa explosiva (Fig 4-57 / Método 1).

(b) Método 2 - colocar a espoleta sobre a placa explosiva e fixá-Ia com um pedaço de placa explosiva de, no mínimo, 10 x 10 cm (Fig 4-57 / Método 2).

(c) Método 3 - colocar a espoleta sobre a placa explosiva e fixá-Ia com outra placa explosiva (Fig 4-57 / Método 3).

(d) Método 4 – nos casos em que não é possível escorvar a placa explosiva com os métodos acima apresentados, colocar a espoleta perpendicular com sua ponta volta para a placa, fixando-a com um suporte (massa, plástico, madeira) e fita isolante (Fig 4-57/ Método 4).

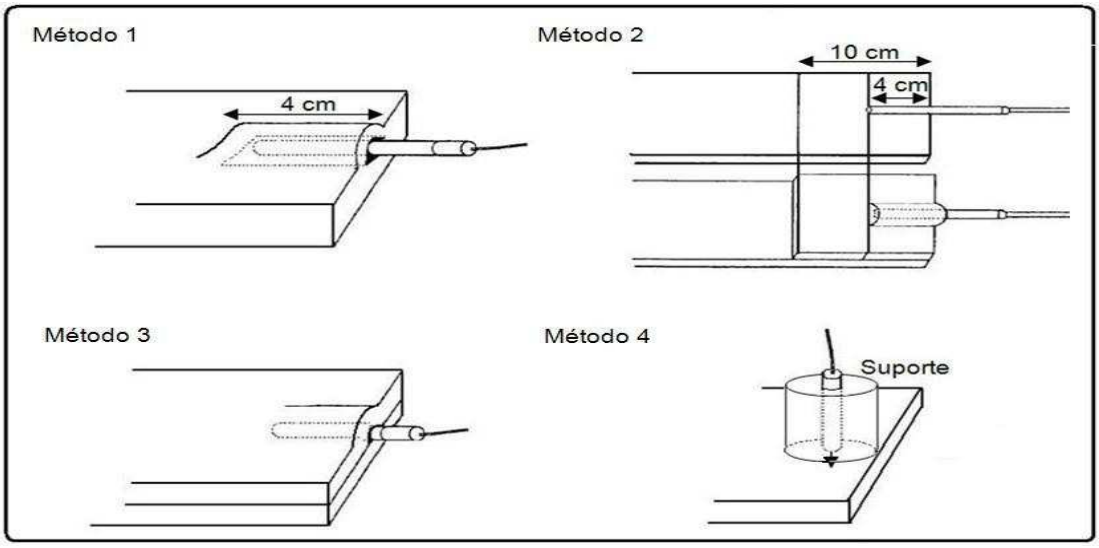


Fig 4-53. Escorvamento de placa explosiva

7. ESTUDO DAS FALHAS NOS LANÇAMENTOS DE FOGO

a. Generalidades

Uma carga, cujo acionamento tenha falhado, torna-se muito perigosa. Por isso, tomar o máximo de cuidado a fim de evitar as falhas, observando-se as precauções a seguir, comuns a todos os processos de lançamento de fogo.

b. Cuidados gerais

(1) No preparo das cargas

(a) Preparar corretamente a escorva.

(b) Dispor cuidadosamente o explosivo.

(c) Escorvar a carga de forma correta.

(d) Colocar o enchimento com cuidado, para não danificar a carga ou a escorva.

(e) Usar a técnica apropriada de acionamento.

(f) Sempre que possível, usar o processo duplo de lançamento de fogo. Se forem instalados corretamente, um deles, por certo, acionará a carga.

(g) Evitar usar espoletas em cargas subterrâneas ou sob enchimento. Dar preferência ao uso de cordel detonante.

(2) Na remoção das falhas

(a) Em tempo de paz, **ESPERAR, no mínimo, 30 minutos**, para investigar a falha. Em combate, a importância da destruição poderá impor a verificação imediata da falha, justificando o risco a que será exposto o pessoal especializado.

(b) As falhas devem ser investigadas por elementos hábeis no manuseio de explosivos e capacitados para executar tais operações. De preferência, devem ser sanadas pelo próprio elemento que preparou as cargas e o circuito de lançamento de fogo.

(c) Sempre que possível, o elemento encarregado de sanar a falha deve verificar a provável causa da mesma, a fim de evitar a sua repetição.

(d) Se a carga não tiver enchimento, EVITAR manuseá-la. Escorvar um petardo de 500 g de TNT ao lado da falha e acionar novamente.

(e) Se o enchimento não for superior a 30 cm, procurar acionar a carga explodindo uma nova carga-escorva de 1 kg de TNT sobre o enchimento.

(f) Se a carga falhada estiver enterrada é necessário remover cuidadosamente o enchimento. Tal operação NÃO deve ser feita com ferramentas metálicas, porque, por descuido, a ação da ferramenta sobre a carga poderá acioná-la.

1) Empregar uma ferramenta ou bastão de madeira. Se existir um compressor de ar ou bomba de água, remover o enchimento com um jato de ar ou de água.

2) Não tentar remover a escorva nem a carga. Quando a carga estiver coberta por cerca de 30 cm de enchimento, tentar acioná-la com uma nova escorva, constituída por 1 kg de TNT, colocada sobre o enchimento.

3) Sempre que possível, usar cordel detonante para escorvar cargas subterrâneas ou sob enchimento, colocando a espoleta, que irá detonar o cordel, em local de fácil acesso e visibilidade.

(g) Um outro processo para acionar uma carga enterrada, que não explodiu, é cavar um novo buraco, distante cerca de 30 cm do outro e com a mesma profundidade.

1) Colocar uma escorva, constituída por 1 kg de TNT, no novo buraco para acionar a carga falhada.

2) A nova escavação deve ser paralela à anterior para que não haja perigo de, por um movimento descuidado, ser acionado o fornilho inicial, nem a carga de escorva ficar tão distante da carga principal, de modo a impedir o êxito da operação.

c. Falhas no processo pirotécnico de lançamento de fogo

(1) Causas mais comuns
(a) Estopim em mau estado.
(b) Incorreta colocação das escorvas.
(c) Explosivo deteriorado.
(d) Falta de verificação do acendimento do estopim.

(2) Remoção das falhas
Observar as orientações constantes no subparágrafo b.

d. Falhas no processo elétrico de lançamento de fogo

(1) Precauções - as falhas no processo elétrico de lançamento de fogo podem ser reduzidas se a responsabilidade de todas as ligações for atribuída a um único elemento. Este deve assegurar-se de que:

(a) Todas as espoletas estão incluídas no circuito de fogo.

(b) A quantidade de espoletas não excede a capacidade do explosor.

(c) Todas as ligações estão bem feitas.

(d) Todos os curtos-circuitos "terras" foram evitados.

(2) Causas mais comuns

(a) Explosor defeituoso.

(b) Operação incorreta do explosor.

(c) Circuito elétrico danificado.

(d) Ligações mal feitas, causando curto-circuito, circuito aberto ou grande resistência no circuito.

(e) Emprego, no mesmo circuito, de espoletas de tipos e/ou de fabricantes diferentes.

(f) Demasiado número de espoletas em um mesmo circuito.

(3) Remoção das falhas - além das orientações constantes do subparágrafo b. , são recomendadas, ainda, as seguintes:

(a) Verificar a ligação do fio condutor aos bornes do explosor.

(b) Fazer mais duas ou três tentativas para acionar a carga.

(c) Substituir o explosor e fazer nova tentativa.

(d) Desconectar o fio condutor dos bornes do explosor e unir as suas extremidades, fechando o circuito.

(e) Esperar, no mínimo, 30 minutos.

(f) Verificar todo o circuito, inclusive o fio condutor, à procura de interrupções ou curtos-circuitos. Levar o explosor junto.

(g) Não tentar remover a escorva nem a carga.

(h) Se a falha não for descoberta, desligar os fios da espoleta (da escorva primitiva) do circuito de fogo.

(i) Unir as extremidades dos fios da espoleta desprezada, sem retirá-la do seu lugar.

(j) Instalar uma nova escorva e refazer as ligações.

(l) Recolocar o enchimento.

(m) Acionar a nova escorva.

e. Falhas no processo “NONEL”

(1) Causas mais comuns

(a) Tubo danificado.

(b) Iniciação do tubo insuficiente.

(c) Desconexão da espoleta do tubo.

(2) Remoção das falhas

Observar as orientações constantes no subparágrafo b.

e. Falhas no lançamento de fogo com o cordel detonante

(1) Empregando a espoleta comum

(a) No caso de se empregar uma espoleta comum para escorvar o cordel detonante e esta vier a falhar, retardar a investigação conforme foi orientado anteriormente (mínimo de 30 minutos).

(b) Cortar o cordel detonante da linha principal, entre a espoleta e a carga.

(c) Ligar uma nova espoleta ao cordel detonante.

(2) Empregando espoleta elétrica

(a) No caso de se empregar uma espoleta elétrica para escorvar o cordel detonante e esta vier a falhar, desconectar o explosor e retardar a investigação conforme foi orientado anteriormente (mínimo de 30 minutos)

(b) Procurar a interrupção ou curto-circuito no circuito elétrico. Se necessário, remover as ligações da espoleta elétrica e ligar a uma nova espoleta a ser fixada ao cordel detonante, próxima à primeira.

(3) Se a espoleta explodir e o cordel não detonar

(a) Investigar o circuito de fogo.

(b) Ligar uma nova espoleta ao cordel detonante, tendo especial cuidado em fazer a ligação perfeita.

(4) Se detonar a linha principal, mas falhar a ramificação

Ligar uma espoleta à ramificação do cordel detonante e fazer o lançamento de fogo, separadamente.

(5) Se detonar o cordel, mas a carga não explodir

(a) Retardar a investigação conforme orientado anteriormente (mínimo de 30 minutos).

(b) Se a carga continuar intacta, induzir uma nova escorva.

(c) Se a carga não estiver mais intacta, devido à detonação do cordel, reunir o explosivo, aproveitando-o tanto quanto possível. Preparar uma nova carga e introduzir uma nova escorva.

(d) Procurar recolher o máximo de explosivo espalhado pela falha, particularmente quando realizando exercícios.

Conteúdo extraído dos seguintes manuais:

- BRASIL. Estado-Maior do Exército. **C 5-25: Explosivos e destruições**. 2ª Ed. Brasília: EGGCF, 1991.
- BRASIL. Estado-Maior do Exército. **C 5-34: Vade-Mécum de Engenharia**. 3ª Ed. Brasília: EGGCF, 1996.
- BRASIL. Departamento Logístico. **R 105: Regulamento para a Fiscalização de Produtos Controlados**. 1ª Ed. Brasília: EGGCF, 2001.
- BRASIL. Estado-Maior do Exército. **T 9-1903: Armazenamento, conservação, transporte e destruição de munições, explosivos e artifícios**. 1ª Ed. Brasília: EGGCF, 1970.
- BRASIL. Diretoria de Material de Engenharia. **Boletim Técnico Especial Nr 4: Normas de emprego e manuseio de cargas explosivas e dispositivos acionadores**. Brasília, 1983.
- BRASIL. Academia Militar das Agulhas Negras. **Apostila de explosivos e destruições do Curso Avançado**. Editora acadêmica.
- BRASIL. Academia Militar das Agulhas Negras. **Vade-Mécum de OT do Curso de Engenharia**. Editora Acadêmica.
- BRASIL. Academia Militar das Agulhas Negras. **Apostila de Explosivos e destruições do Curso de Engenharia**. Editora acadêmica.
- ATHAYDE, ALCIO AUGUSTO CARPES. **Instruções sobre desmonte de rocha no Instituto Militar de Engenharia**. Instituto Militar de Engenharia, 2008.

CAPÍTULO 5
CÁLCULO E COLOCAÇÃO DE CARGAS

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

a. Importância do cálculo

(1) A quantidade de explosivo necessária para um trabalho de destruição é determinada pelo cálculo. O cálculo das cargas pode ser rápido e facilmente realizado empregando-se as fórmulas que são apresentadas neste capítulo, ou as tabelas práticas usadas com a mesma finalidade

(2) As cargas devem ser determinadas pelo cálculo, exceto quando houver falta de tempo. Em combate, as cargas devem ser as necessárias e suficientes para realizar a destruição desejada. Isto é garantido pelo cálculo. Uma carga menor que a necessária pode resultar em desnecessária perda de vidas e possível fracasso de uma missão.

(3) As tabelas fornecem o mesmo resultado que o cálculo e, em certos casos, um resultado quase igual, bastante aproximado àquele obtido com auxílio das fórmulas para o cálculo.

b. Fatores críticos no cálculo das cargas

A quantidade de explosivo utilizada em qualquer projeto de destruição é determinada por cálculos baseados nos seguintes fatores críticos:

(1) Tipo e resistência do material

O alvo da destruição pode ser constituído por madeira, aço ou outro material qualquer. O concreto pode ser reforçado com ferros, o que aumenta a sua resistência.

(2) Tamanho e forma do alvo

Considerar o tamanho e a forma do alvo a ser destruído. Por exemplo, alvos largos, tal qual concreto de pilares, e alvos especiais tais quais vigas de aço de alma em I, podem ser destruídos de forma mais econômica utilizando-se várias cargas em vez de uma só.

(3) Efeito desejado

Considerar a extensão da destruição e outros efeitos desejados, tais como a direção de queda das árvores para construir um abatis.

(4) Tipo de explosivo

As características particulares de cada explosivo determinam sua aplicação para cada projeto de destruição. Elas constam do Anexo A (CARACTERÍSTICA DOS PRINCIPAIS EXPLOSIVOS).

(5) Tamanho e forma da carga

(a) As fórmulas fornecem a quantidade de explosivo a ser empregada. Entretanto, quando se usar placas explosivas, como cargas externas, sem uma colocação técnica especial, uma carga com uma relação de 1 para 3 (ou mais) entre a espessura e a largura vai dar resultados satisfatórios.

(b) Em geral, cargas com menos do que 2 kg devem ter uma espessura de 2,5 cm.

(c) Cargas de 2 a 18 kg deverão ter 5 cm de espessura.

(d) Cargas de 18 kg ou mais deverão ter 10 cm de espessura.

(6) Colocação das cargas

(a) A força produzida por uma explosão é diretamente proporcional à quantidade e ao tipo do explosivo empregado. Entretanto, os efeitos de destruição dependem do contato entre a carga e o objeto a destruir e da forma pela qual a força explosiva é dirigida contra esse objeto;

(b) Quando um explosivo é detonado, ele exerce pressões em todas as direções. Desta forma, se o explosivo estiver fortemente comprimido no interior do objeto a ser destruído, ele exerce sua força sobre os materiais que estão em torno dele e produz o efeito de destruição máximo. Entretanto, se o explosivo não estiver inteiramente fechado no interior do elemento a destruir, parte da pressão explosiva escapa através da abertura ou aberturas, perdendo-se parte dos efeitos de destruição. Da mesma forma, se o material que circunda a carga explosiva não é igualmente resistente em todos os sentidos, a força explosiva rompe pelo lado mais fraco.

(c) Geralmente os efeitos produzidos por uma carga são maiores no lado oposto àquele em que é colocada.

(d) Orientação para colocação de cargas:

1) Para abertura de crateras, colocar as cargas em furos sob a terra.

2) Para romper ou fissurar pedras ou concreto, colocar as cargas na superfície ou em perfurações efetuadas no material.

3) Para cortar madeira, fixar a carga na parte externa ou colocá-Ia internamente, conforme for mais prático.

4) Fixar as cargas com arame, compostos adesivos, fita ou cordel. Se for o caso, escorar a carga contra a peça a ser destruída com uma estaca.

(7) Método de iniciação

O método de iniciação normalmente não é crítico, exceto para alguns tipos de cargas especiais, tais como as constituídas por explosivos plásticos.

(8) Direção de iniciação

O sentido em que a onda de choque viaja através da carga explosiva afetará a taxa da energia transmitida ao alvo. Se a direção da onda de choque viaja paralelamente a superfície do alvo (Fig 5-1, diagrama 1), a onda de choque transmitirá menos energia em um período de tempo do que se o sentido da detonação for perpendicular ao alvo (Fig 5-1, diagrama 2). Sempre que possível, para melhores resultados, inicie a carga no centro da face oposta à parte da carga em contato com o objeto a ser destruído (Fig 5-1, diagrama 2).

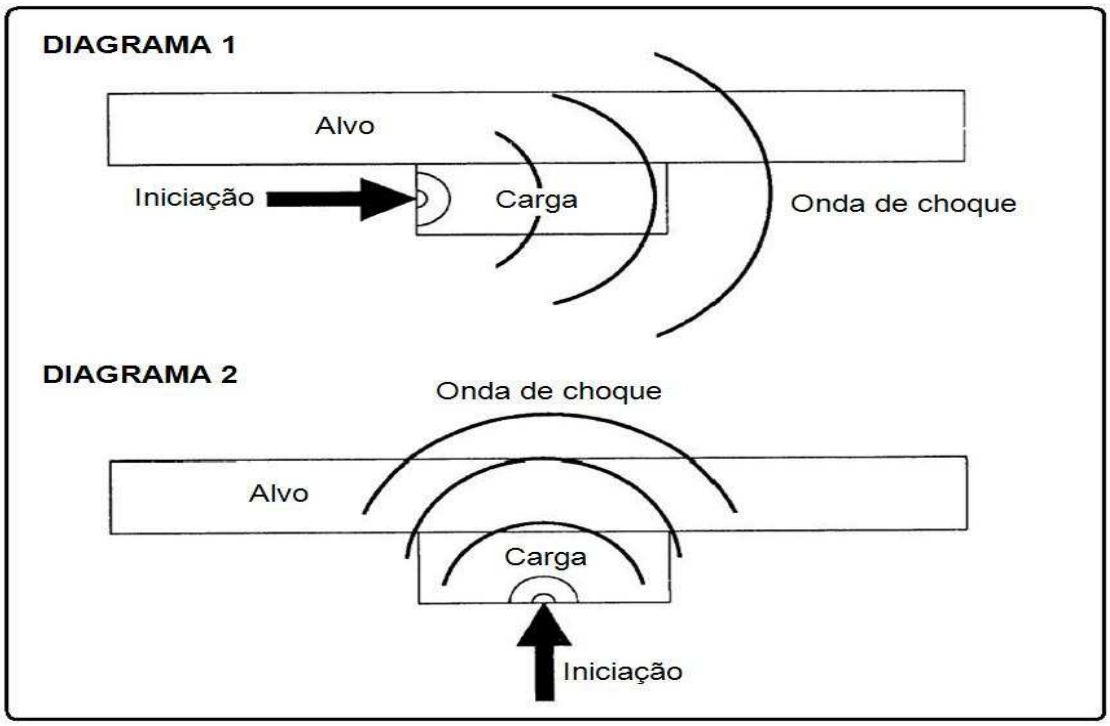


Fig 5-1. Direção de iniciação da carga

(9) Enchimento

(a) A detonação de um explosivo produz pressão em todas as direções. Se a carga não está adequadamente confinada, ou se o material que a circunda não é homogêneo em todas as direções, a força explosiva escapará através do local mais fraco.

(b) Para que a força explosiva seja exercida em sua plenitude para atingir o objetivo desejado, colocar material em torno ou sobre a carga. Este material é chamado de "enchimento".

(c) Para se obter os efeitos máximos, os explosivos devem ser colocados em ambientes fechados ou sob enchimento por um dos seguintes processos:

1) As cargas internas são fechadas colocando-se um forte enchimento de terra, areia ou barro (lama) na abertura do orifício que contém o explosivo. Tal enchimento é colocado de encontro ao explosivo e cobre todo o orifício até as suas bordas externas. Nos orifícios, o enchimento não deve ser socado antes de o explosivo ser coberto por, no mínimo, 30 cm de material.

2) Nas cargas externas o enchimento é feito com uma forte cobertura de sacos de areia, barro (lama) ou outro material denso. O material do enchimento pode ser empregado em sacos ou solto. Para se obter o efeito máximo, a espessura do enchimento deve ser, no mínimo, igual ao raio de ruptura.

3) O enchimento de pequenas cargas de ruptura, em superfícies horizontais, muitas vezes é feito colocando-se uma camada de argila ou lama em redor e sobre as cargas. Este processo de enchimento é chamado "capeamento de lama".

c. Princípios de destruição

(1) Efeitos da Explosão

(a) Quando um explosivo detona, ele se transforma violentamente em gases a uma pressão extremamente alta. O tipo de explosivo, sua densidade, confinamento e dimensões da carga determinam a velocidade de transformação.

(b) A pressão resultante provoca, então, uma onda de choque compressiva que despedaça e desloca os objetos que se encontram no seu caminho.

(c) A detonação de uma carga de alto explosivo em contato direto com um objeto sólido produz três efeitos destrutivos:

1) O primeiro é a deformação da superfície do objeto que está em contato com a carga explosiva.

a) Na superfície do concreto, a onda de choque fragmenta o material na parte imediatamente próxima da carga, formando uma cratera.

b) Em uma peça de aço, a onda explosiva provoca, em sua superfície, um corte ou depressão de tamanho aproximado ao da área em contato com a carga.

2) O segundo efeito é aquele em que a explosão fragmenta o material a ser rompido. Se a carga for suficientemente grande, o lado oposto do objeto vai se fragmentar ou ser lançado em pedaços para fora.

a) Em uma parede de concreto, a cratera e a fragmentação darão origem a um buraco através da parede.

b) Em uma chapa de aço, um fragmento com o tamanho aproximado da carga explosiva é lançado para fora da superfície da chapa.

3) O terceiro efeito, que ocorre se a carga explosiva for suficientemente grande, é aquele em que a explosão dos gases cria uma carga de pressão sobre os objetos, dando origem a rachaduras radiais e deslocamento de material.

a) Em paredes de concreto, este efeito poderá partir a parede em um grande número de fragmentos e projetá-los para longe.

b) Em chapas de aço, o material pode ser entortado para fora em direção oposta à posição da carga.

(d) A explosão gerada pela detonação de uma carga pode gerar também os seguintes efeitos:

1) Efeitos primários (Fig 5-2)

a) Onda positiva - expansão polidirecional dos gases, formando em seu interior um vácuo.

b) Onda negativa - preenchimento do vácuo formado pela onda positiva, quando sua força de expansão for menor que a pressão atmosférica. É a implosão.

c) Térmico-incendiário - geração de altas temperaturas durante a explosão, podendo afetar objetos inflamáveis.

d) Fragmentação - decomposição ou desintegração das coisas dentro da onda positiva.

2) Efeitos secundários

a) Reflexão - mudança de rumo da onda positiva, quando esta se depara com um objeto que não consegue fragmentar.

b) Convergência - divisão da onda positiva, quando esta encontra um objeto que não pode fragmentar e que não possua área suficiente para provocar uma reflexão.

c) Proteção - espaço formado imediatamente após a convergência ou reflexão da onda positiva, que não é afetado diretamente por ela.

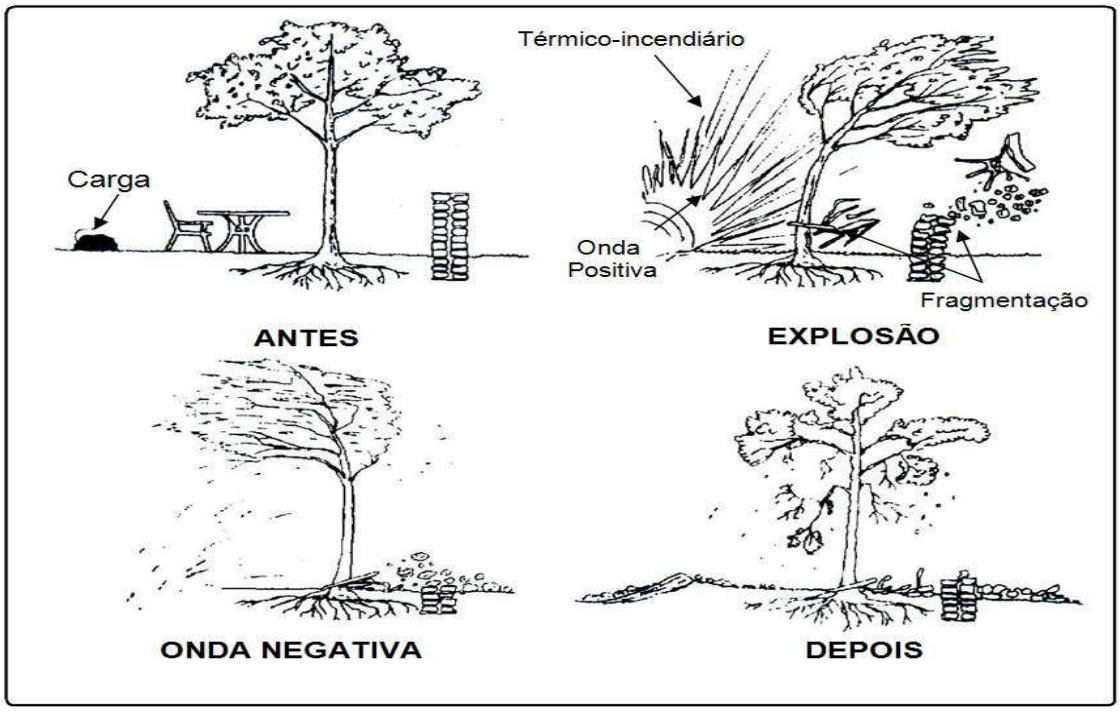


Fig 5-2. Efeitos da explosão

(2) Significado das dimensões da carga

(a) A força de uma explosão depende da quantidade e potência do explosivo. O efeito destrutivo depende da maneira como a força explosiva é dirigida contra o alvo.

(b) Para transmitir um choque maior, é preciso existir uma relação ideal entre a área da carga em contato com o alvo e a espessura da carga.

(c) Se uma carga, previamente calculada, for espalhada sobre a superfície a ser destruída, formando uma camada muito fina, não vai haver espaço suficiente para a onda explosiva alcançar plena velocidade antes de atingir o alvo. A onda explosiva vai tender a trabalhar paralelamente, em vez de agir perpendicularmente à superfície do alvo. Em outras palavras, o volume do alvo será muito grande para ser afetado pela força da onda de choque.

(d) Em contrapartida, uma carga espessa com uma área de contato pequena vai transmitir a onda de choque sobre uma área do alvo muito pequena, com excessiva perda lateral de energia.

(e) Para cargas de contato para corte de aço em aço estrutural de espessura menor ou igual a 3 polegadas (7,5 cm), testes têm demonstrado que a melhor proporção entre a espessura do alvo e a largura da carga é de aproximadamente 1 para 3. Para cargas de ruptura, retangulares, externas, sem enchimento, a melhor proporção para romper o concreto armado, de 30 cm a 2 m de espessura, oscila entre 1 para 6 e 1 para 14.

(3) Significado da colocação da carga

(a) O efeito destrutivo de uma carga explosiva também depende do contato entre o explosivo e o alvo e da posição relativa da carga em relação ao tamanho e à forma do alvo.

(b) Para obter o melhor efeito destrutivo, uma carga explosiva deve detonar em contato cerrado com o alvo. Qualquer espaço existente entre o alvo e o explosivo irá diminuir a força da onda de choque. Os explosivos plásticos e as placas explosivas, que podem ser cortadas ou moldadas, são as mais indicadas para determinados tipos de alvos.

(c) Sempre que possível, instalar as cargas de modo que possam atuar sobre a parte mais fraca do alvo. Usar cargas internas para obter o máximo poder destrutivo com um mínimo de explosivo. O uso de enchimento nas cargas externas aumenta o seu efeito de destruição.

d. Tipos de cargas

(1) Cargas Internas

(a) As cargas internas são colocadas em furos feitos no alvo. Os buracos devem ser fechados por sacos de areia, terra molhada ou qualquer outro material semelhante.

(b) Colocar o enchimento contra o explosivo, enchendo o orifício até a superfície.

(2) Cargas Externas

(a) As cargas externas são colocadas na superfície do alvo. Cobrir o explosivo com um enchimento de material denso, tal qual exemplificado anteriormente.

(b) Para ter o máximo de eficácia, a espessura do enchimento deverá ser no mínimo igual ao raio de ruptura.

(c) Pequenas cargas de ruptura colocadas em superfícies planas devem ter como enchimento um palmo de terra molhada ou lama.

e. Seleção e cálculo de cargas

(1) Seleção de Carga

A seleção de um explosivo para uma determinada destruição é o resultado de um balanço entre os aspectos práticos para a destruição do alvo e os seguintes fatores:

1) quantidade e tipo de explosivo disponível;

2) quantidade e tipo de enchimento disponível;

3) pessoal disponível; e

4) tempo disponível para cumprir a missão.

(2) Cálculo da Carga

(a) As fórmulas apresentadas neste capítulo possibilitam calcular **"C"**, quantidade de explosivo necessária para a destruição.

(b) O valor obtido para "C", no uso das fórmulas que serão apresentadas, representa a quantidade de TNT necessária para uma certa carga. Quando for utilizado outro explosivo, o valor de "C" precisa ser ajustado de acordo com o efeito relativo desse explosivo em relação ao TNT. Este ajuste é obtido dividindo-se o valor de C para o TNT pelo coeficiente de efeito relativo do explosivo a ser usado, fornecido pelo Anexo A (CARACTERÍSTICAS DOS PRINCIPAIS EXPLOSIVOS).

(c) Utilizar sempre o mesmo procedimento para calcular a quantidade de explosivo necessária para a destruição, seguindo esta sequência:

1) obter as dimensões críticas do alvo, necessárias para o cálculo da carga;

2) usar a fórmula adequada para calcular a quantidade de TNT necessária à destruição, fazendo a aproximação das casas decimais até centésimos;

3) se for usar outro explosivo, dividir o resultado pelo coeficiente do efeito relativo;

4) dividir a quantidade de explosivo calculada pelo peso dos petardos de explosivo disponível, arredondando o resultado para mais, caso este seja fracionário;

5) determinar o número de cargas; e

6) multiplicar a quantidade de explosivo encontrada em 4) pelo número de cargas de 5), obtendo a quantidade total de explosivo necessário para a destruição.

(d) Regra de aproximação

1) As cargas calculadas pelas fórmulas apresentadas neste manual devem ser arredondadas, em princípio, para um número imediatamente superior de petardos, do tipo que está sendo usado.

2) Por exemplo: o cálculo indica que são necessários 900g de TNT; estão sendo usados petardos de 250 g. Logo, a carga corresponde a 3,6 petardos. Usar 4 petardos. Esta regra requer bom senso. Em alguns casos, por exemplo: só se dispõe de petardos de 1.000g e a carga calculada é de 200 g; o petardo deve ser partido para evitar desperdício.

2. CARGAS PARA CORTAR MADEIRA

a. Generalidades

(1) Uso de explosivo

O corte de madeira com explosivos só apresenta rendimento aceitável para peças de diâmetro (ou menor lado) compreendido entre 20 cm e 75 cm.

(2) Tipo de explosivo a ser usado

(a) Dinamite - é o explosivo mais indicado para ser utilizado em cargas internas, pois o tamanho e a forma dos cartuchos facilitam a sua introdução em orifícios.

(b) TNT - é o mais indicado para cargas externas concentradas, sem enchimento, porque é facilmente amarrado ou apertado contra o alvo.

(c) Explosivo plástico ou placas explosivas - são os explosivos mais indicados para cargas externas, em anel, sem enchimento, pois são facilmente apertadas e moldadas em torno do alvo.

(3) Quantidade de explosivo a ser usada

(a) É impraticável tentar cortar todas as espécies de madeira com cargas calculadas por intermédio de uma única fórmula. Os tipos de madeira variam de lugar para lugar, desde as mais tenras até as resistentes madeiras tropicais e as fibrosas, como o coqueiro. Devido a isso, é preciso realizar testes para se determinar a carga necessária para cortar um tipo específico de madeira.

(b) As fórmulas, para calcular a quantidade de explosivo necessária para iniciar o teste, são mostradas a seguir.

b. Cálculo e colocação das cargas

(1) Carga interna, com enchimento (Fig 5-3)

(a) Para cortar árvores, cavaletes, postes, vigas ou outras peças de madeira, com cargas internas, com enchimento, utilizar uma das seguintes fórmulas:

1) Madeira dura: $C = 0,3\ D^2$

2) Madeira macia: $C = 0,2\ D^2$

Onde: **C** = quantidade de TNT necessária, em gramas.

D = diâmetro ou menor dimensão da peça, em centímetros.

OBSERVAÇÃO

Em caso de dúvida em relação à característica da madeira, considerar como **madeira dura**.

(b) Problema ilustrativo.

1) Determinar a quantidade de TNT necessária para cortar uma árvore de madeira dura, com 30 cm de diâmetro, usando carga interna, com enchimento.

2) Cálculos: Fórmula: $C = 0,3\ D^2$;

Temos: D = 30 cm; e

Então: $C = 0,3 \times 30^2 = 0,3 \times 900 = 270$ g de TNT

3) Solução: Usar 3 petardos de 100 g de TNT

(c) Colocação da carga (Fig 5-3)

1) As cargas internas são colocadas em orifícios paralelos à maior dimensão da seção de corte da peça de madeira. Colocar um enchimento de terra úmida ou barro tamponando o orifício. Não socar o enchimento com objetos metálicos ou pontiagudos. Usar uma vara de madeira com a extremidade achatada.

2) Se a carga for muito grande para um só orifício, fazer dois buracos, próximos um do outro, sem se interceptarem.

a) Em peças roliças, abrir os orifícios em direções aproximadamente perpendiculares uma da outra.

b) Em peças retangulares, fazer um orifício de cada lado da parte mais estreita, de forma que os dois furos fiquem aproximadamente paralelos entre si.

.c) As cargas colocadas nos dois orifícios devem ser acionadas simultaneamente

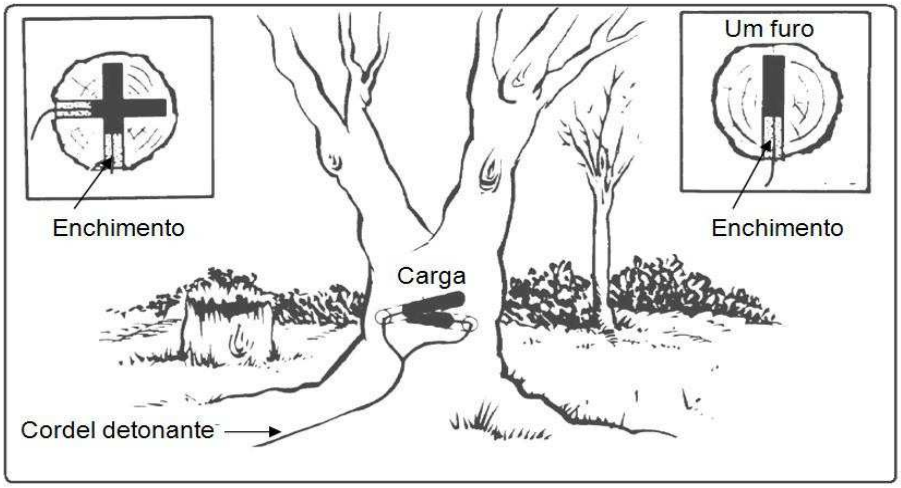


Fig 5-3. Carga interna para cortar madeira

(2) Carga externa, sem enchimento (Fig 5-4)

(a) Para cortar madeira com cargas externas, sem enchimento, utilizar uma das seguintes fórmulas:

1) Madeira dura: $C = 1{,}8\ D^2$

2) Madeira macia: $C = D^2$

Onde: **C** = quantidade de TNT necessária, em gramas.

D = diâmetro ou menor dimensão da peça, em centímetros.

(b) Problema ilustrativo

1) Determinar a quantidade de TNT necessária para cortar uma árvore de madeira dura, com 30 cm de diâmetro, usando carga externa, sem enchimento.

2) Cálculos: Fórmula: $C = 1{,}8\ D^2$;

Temos: D = 30 cm; e

Então: $C = 1{,}8 \times 30^2 = 1{,}8 \times 900 = 1.620$ g de TNT

3) Solução: usar 17 petardos de 100 g, ou 7 petardos de 250 g ou qualquer outra solução viável.

(c) Colocação da carga

1) Uma árvore, cortada com explosivo, cai para o lado em que foi colocada a carga, a menos que a sua inclinação ou o vento modifiquem a direção da queda (Fig 5-4).

2) Se a árvore não for redonda e a direção da queda não tiver

importância, colocar o explosivo na sua menor face, de modo que ele tenha de romper a sua menor dimensão.

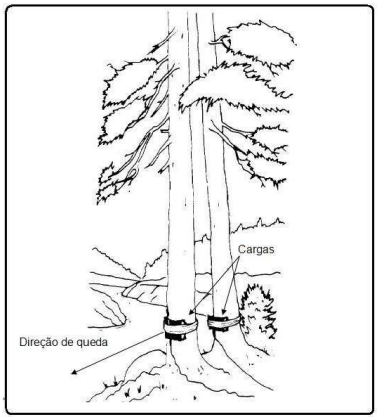


Fig 5-4. Colocação de carga externa para cortar árvores

3) Em peças de madeira retangulares, a carga deve ser colocada sobre a face mais larga a destruir. Se a peça for aproximadamente quadrada, repetir a carga sobre duas faces adjacentes, ligando-as por um cordel detonante (Fig 5-5).

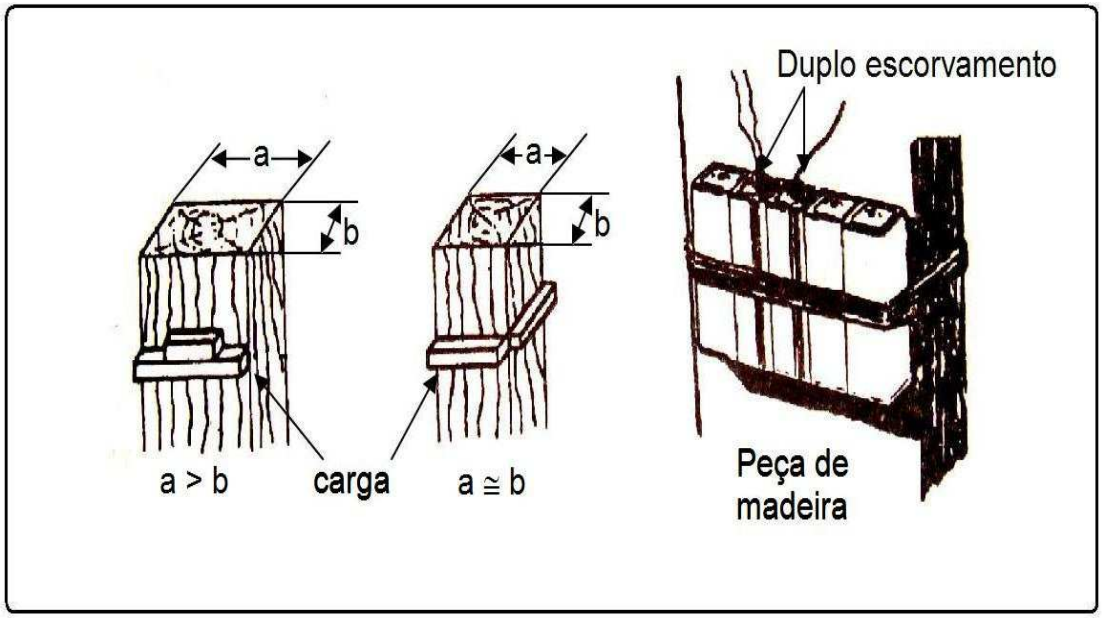


Fig 5-5. Colocação da carga externa, para cortar peça de madeira retangular

ATENÇÃO

Quando seja necessário colocar a carga sobre a face mais estreita de uma peça de seção retangular, como costuma acontecer no caso das vigas pouco espaçadas de uma ponte de madeira, ao empregar a fórmula, a maior dimensão da peça deve ser usada como D.

4) As cargas externas devem ser colocadas em contato direto com a superfície da peça de madeira a ser cortada.

5) Para assegurar o contato do explosivo com a madeira, se necessário, entalhar a árvore com um machado.

6) A carga deve ser tão concentrada quanto possível, sendo essencial assegurar o contato entre todos os petardos utilizados na destruição.

7) Em princípio, o eixo longitudinal dos petardos deve ficar perpendicular ao plano da seção a ser rompida (Fig 5-5).

8) Para um maior efeito destrutivo, as cargas concentradas devem ter a forma de um paralelepípedo de 3 cm a 5 cm de espessura, e com uma largura de aproximadamente duas vezes a sua altura (Fig 5-6).

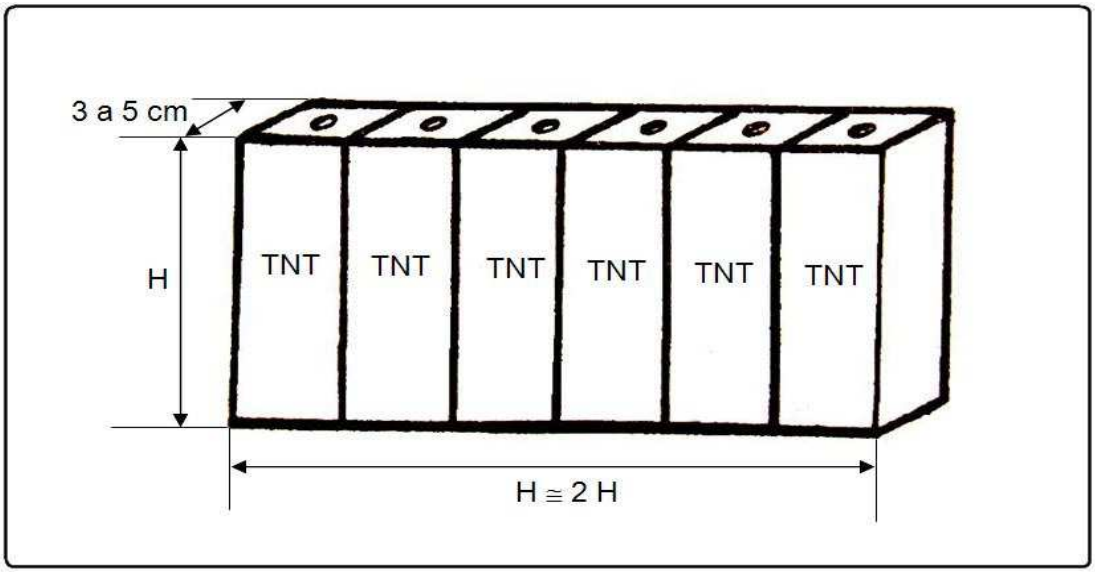


Fig 5-6. Disposição da carga para maior efeito destrutivo

(3) Carga circular ou em anel (Fig 5-7)

(a) A carga circular ou em anel é constituída por uma faixa de explosivos que circunda completamente a árvore.

(b) Este método é utilizado para cortar árvores de diâmetro menor que 75 cm quando for utilizado explosivo plástico e menor que 60 cm quando forem usados petardos de TNT.

(c) A faixa explosiva deve:

1) Circundar completamente a árvore, e ser firmemente fixada à mesma (Fig 5-7).

2) Quando constituída por explosivo plástico, ter de espessura, no mínimo, 1,5 cm para árvores de diâmetros entre 15 cm e 39 cm, e 2,5 cm para árvores de diâmetros entre 40 em e 75 cm.

(d) Usar esta técnica quando a direção de queda da árvore não tiver importância.

(e) O cálculo da quantidade de explosivo deve ser feito por meio da fórmula para cargas externas, sem enchimento.

(f) Se possível, retirar toda a casca da árvore no local onde serão colocados os explosivos.

Ø < 60 m
COLOCAR A CARGA TÃO PRÓXIMA AO SOLO QUANTO POSSÍVEL
PETARDOS
Ø< 75 cm
1,5 cm a 2,5 cm
ESTOPIM OU FIO CONDUTOR
EXPLOSIVO PLÁSTICO

Fig 5-7. Corte de madeira com carga circular

(4) Ruptura de madeira sob a água (Fig 5-8).

(a) Para romper peças de madeira submersas, as cargas explosivas devem ser colocadas, no mínimo, a 30 cm abaixo do nível da água.

(b) Aplicar as fórmulas para madeira macia.

(c) Uma carga de 500 g de TNT é suficiente para cortar um pilar de 30 cm de diâmetro.

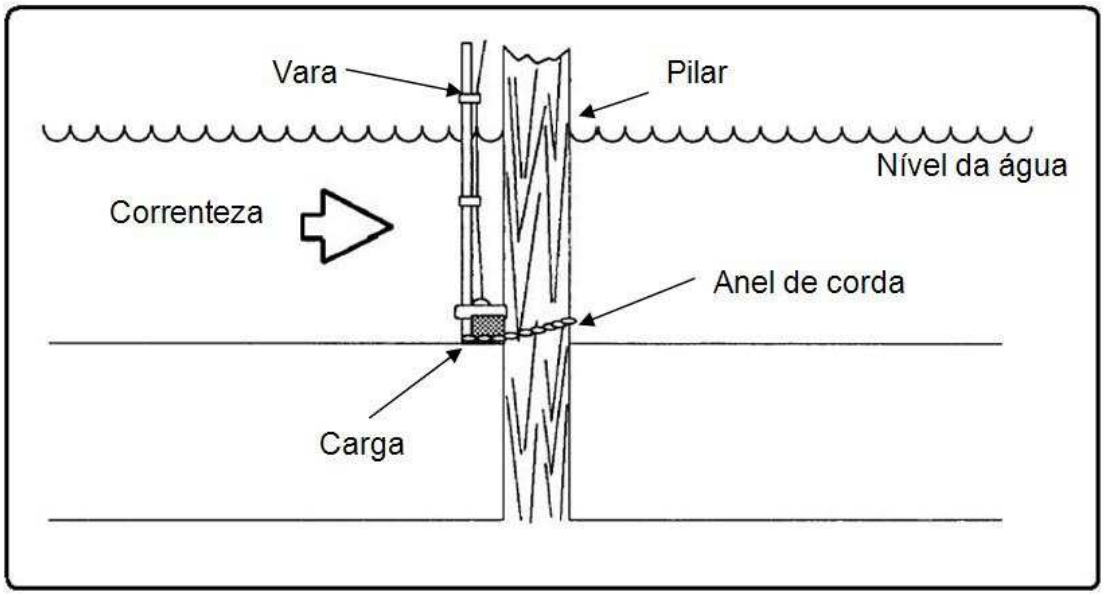


Fig 5-8. Corte de madeira com carga subaquática

c. Abatis

(1) Definição

Abatis é um obstáculo criado pela derrubada de árvores sobre o terreno ou sobre uma estrada (Fig 5-9).

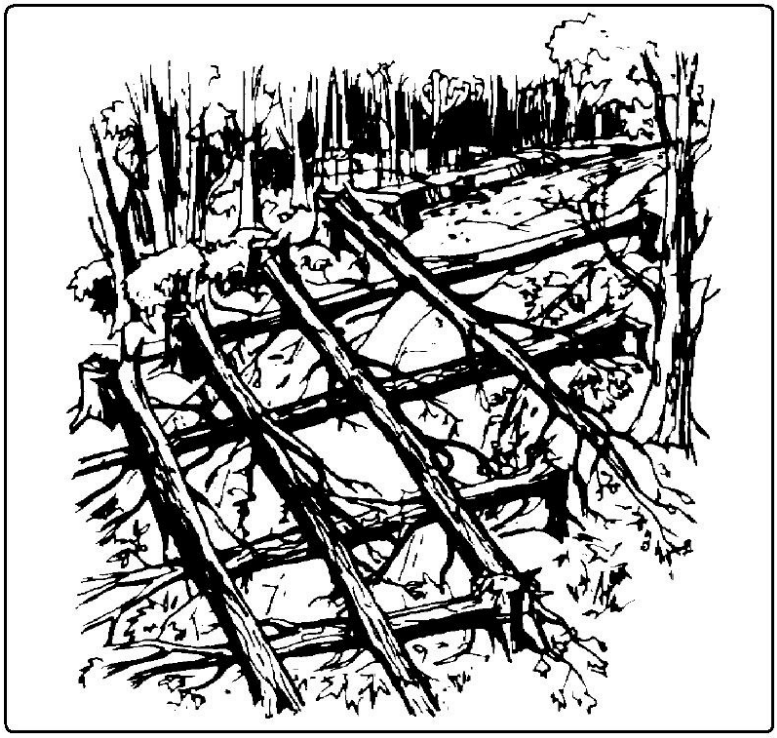


Fig 5-9. Abatis

(2) Fórmula

As fórmulas abaixo possibilitam calcular a quantidade necessária de explosivo para realizar os testes. O resultado final do teste indicará a quantidade realmente necessária de explosivo para realizar o abatis.

$$\text{C abatis} = \frac{2}{3}\ \text{C}$$

Onde: C_{abatis} = quantidade de TNT necessária, em gramas.
C = Fórmula de corte de madeira (Ver subparágrafo b.).

$C = 1{,}8\ D^2$ (carga externa) ou $0{,}3\ D^2$ (carga interna).

(3) Colocação da carga (Fig 5-10)

(a) São colocadas de forma semelhante ao de uma carga concentrada, externa, sem enchimento.

(b) Deve ser fixada à árvore, aproximadamente a 1,5 m de altura em relação ao nível do solo, do lado previsto para a sua queda.

(c) Deve ser colocada uma carga direcional (¼ da carga principal) a cerca de 2 metros acima desta no lado oposto. A carga direcional proporcionará um melhor direcionamento para a queda da árvore.

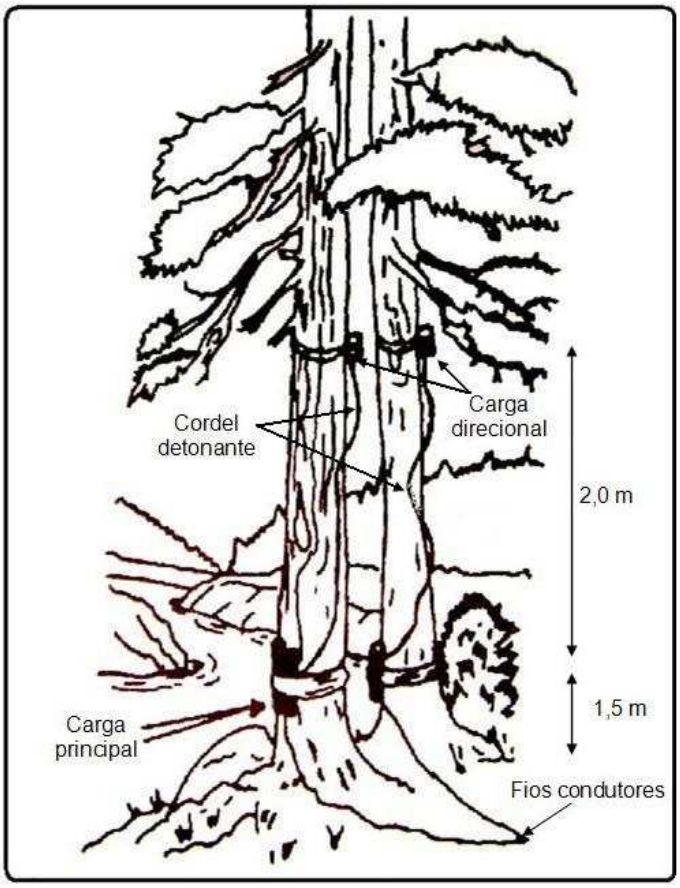


Fig 5-10. Colocação da carga para abatis

(4) Características do obstáculo

(a) As árvores devem tombar com suas copas na direção do inimigo, formando um ângulo de 45° em relação àquela direção, entrecruzando-se e permanecendo presas a seus troncos, dificultando, assim, a sua remoção.

(b) Tombam-se primeiramente as árvores de um lado da estrada depois as do outro.

(c) o obstáculo deve ter, no mínimo, 75 m de profundidade para ser mais eficiente.

(d) As árvores, quando isoladas, devem ter no mínimo, 60 cm de diâmetro.

(e) Espaçar as árvores de modo que não fiquem presas umas às outras, deixando de tombar sobre o solo, após a explosão das cargas.

(f) Dificultar a remoção do obstáculo, instalando minas, armadilhas e arame farpado junto ao mesmo e, se possível, batendo-o por fogos.

d. Tabela para corte de madeira

Quando for necessária rapidez no cálculo da carga, usar o valor fornecido pela tabela do Anexo G (TABELA PARA O CÁLCULO DE CARGAS PARA CORTAR MADEIRA).

e. Destocamento

(1) Generalidades

(a) O destocamento, em geral, apresenta grande dificuldade e depende da espécie e dimensões dos tocos, se os mesmos estão verdes ou secos e das condições do solo. Este conjunto de fatores é que vai determinar a quantidade de explosivo a ser usado em cada caso.

(b) O explosivo mais indicado para a remoção de tocos é a dinamite.

(c) Se possível, o destocamento deve ser realizado com o solo úmido, porque a água preenche os vazios, aumentando a performance do explosivo.

(2) Cálculo da carga

(a) Medir o diâmetro do toco a uma altura de 30 cm acima do nível do solo.

(b) Tocos secos: usar 500g de dinamite por cada 30 cm de diâmetro

(c) Tocos recém cortados: usar 1 kg de dinamite por cada 30 cm de diâmetro.

(d) Se for necessário remover a árvore junto com o toco, aumentar a quantidade de explosivo necessária em 50% (multiplicá-Ia por 1,5).

(3) Colocação das cargas

(a) As árvores podem possuir raiz pivotante, raízes laterais, raízes ramificadas ou ainda sistemas de raízes que sejam uma combinação das citadas.

(b) O tipo de raiz e de solo irá indicar a técnica a ser empregada na sua remoção e só a experiência fornecerá a carga ideal para cada destocamento. As cargas em solos arenosos (leves) devem ser maiores do que em solos argilosos (pesados), pois, estes últimos, proporcionam um enchimento mais rígido.

(c) Tocos com raiz pivotante (que possuem uma raiz central em forma de pião) - pode ser utilizado um dos dois métodos indicados a seguir:

1) Perfurar a raiz e aí colocar a carga (Fig 5-11).

a) Começar o furo 30 cm abaixo do nível do solo.

b) Perfurar com uma inclinação de 45° até um ponto um pouco

além do centro da raiz.

c) O enchimento deve ocupar, no mínimo, 20 cm do furo.

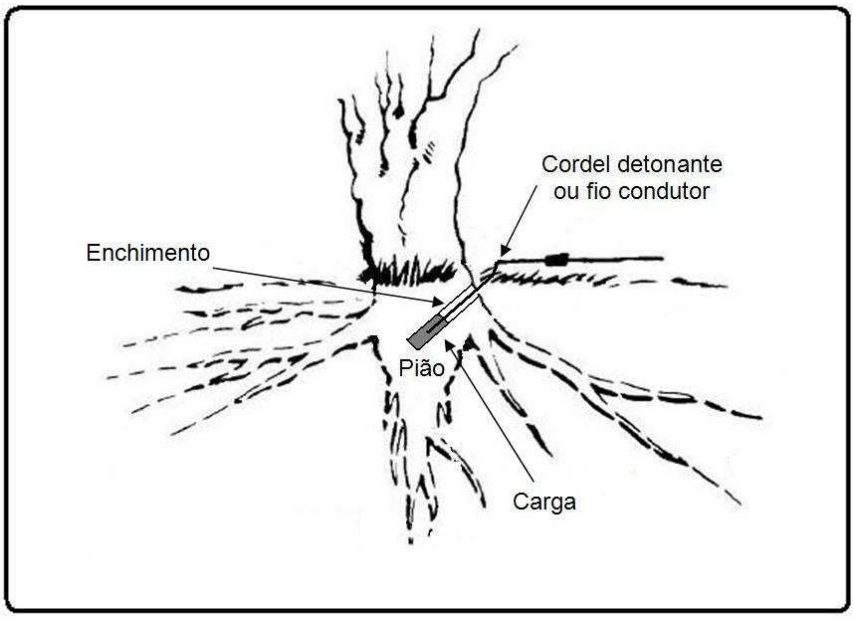


Fig 5-11. Carga no interior do pião (tronco com raiz pivotante)

2) Carga cisalhante (Fig 5-12).

a) É o melhor método.

b) Colocar as cargas em ambos os lados do pião para obter o seu cisalhamento.

c) Os furos devem ter, no mínimo, 1 metro de profundidade.

d) A detonação das cargas deve ser simultânea.

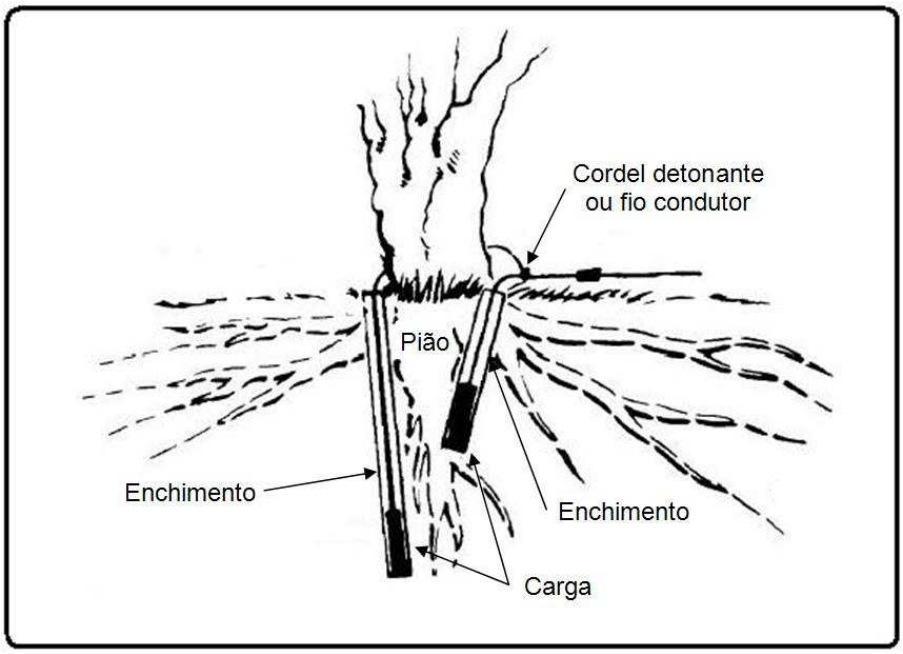


Fig 5-12. Colocação de cargas cisalhantes (tronco com raiz pivotante)

(d) Tocos com raízes laterais e ramificadas

1) Cavar orifícios como mostrado na Fig 5-13.

2) Colocar as cargas o mais próximo possível sob o centro do toco e a uma profundidade igual à metade do diâmetro da base do toco.

3) Tamponar os orifícios.

(e) Tocos com raízes indeterminadas

Se o tipo de raiz não puder ser determinado, proceder como indicado para o toco com raízes laterais, procurando colocar as cargas sob as raízes mais grossas.

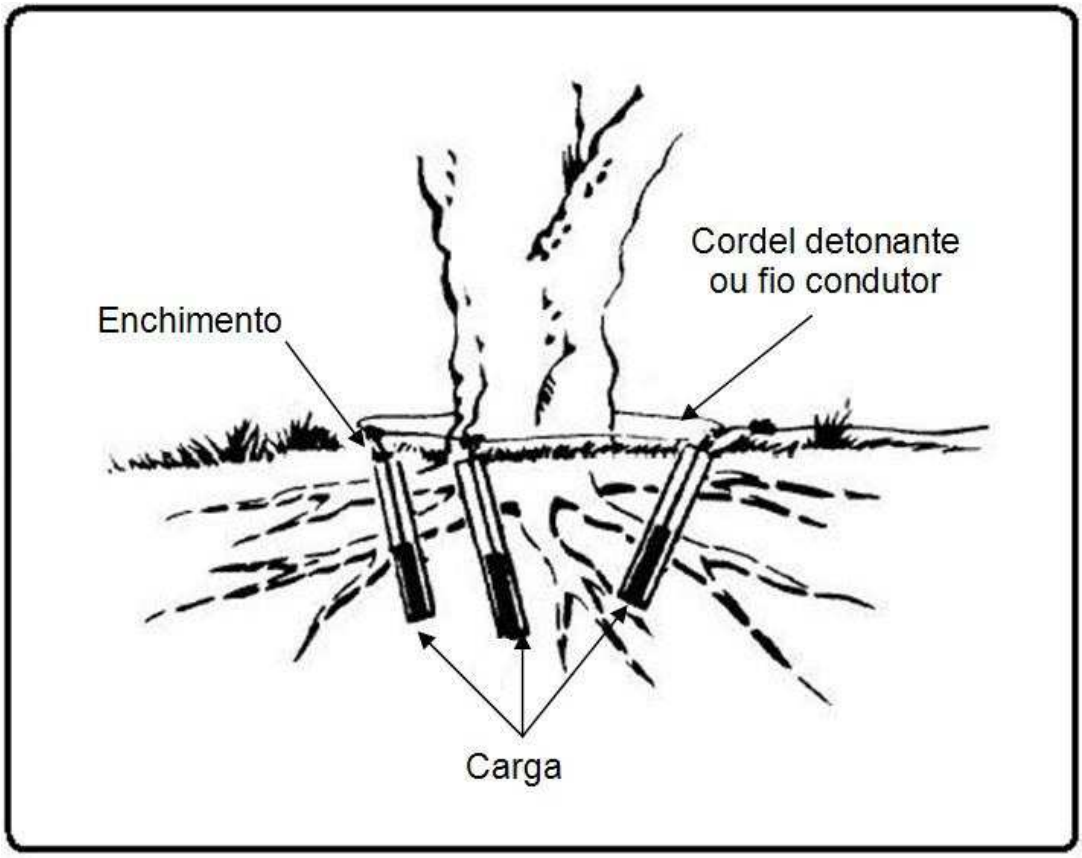


Fig 5-13. Colocação de cargas em tocos com raízes laterais

3. CARGAS PARA CORTAR AÇO

a. Generalidades

(1) No corte de peças de aço, o tipo, tamanho e colocação do explosivo são fatores importantes para se alcançar o objetivo desejado.

(2) O uso de enchimento nem sempre é possível. A colocação das cargas em contato direto com o alvo é mais importante no corte de peças de aço do que na destruição de outros materiais.

(3) Os explosivos plásticos, chapas e folhas explosivas são os melhores para cortar peças metálicas, particularmente as de forma irregular, porque, aliados ao seu grande poder de corte, podem ser cortados, comprimidos e moldados para se ajustarem perfeitamente ao objeto a ser cortado.

(4) Deve-se tomar especial cuidado com a segurança uma vez que as cargas explosivas, no corte de peças de aço, lançam fragmentos, com grande velocidade, a grandes distâncias e, normalmente, isto ocorre do lado oposto onde está colocado o explosivo.

b. Tipos de aço

(1) Aço de estrutura

Vigas em I, L, T e U e chapas de aço são exemplos de aço de estrutura. É a espécie de aço que será mais frequentemente encontrada, pois é a mais usada na

construção de edifícios, pontes e outras estruturas.

(2) Aço de alto teor de carbono

Este tipo de aço contém no mínimo 0,6% de carbono. É um aço mais resistente do que o aço de estrutura. É normalmente usado nas peças moldadas (forjadas) e laminadas.

(3) Aço especial

(a) Os aços especiais normalmente contêm cromo, cobre, manganês, molibdênio, níquel, silício ou vanádio que lhe dão uma maior resistência.

(b) As engrenagens, eixos de transmissão, ferramentas e lâminas de máquinas são feitas de aços especiais.

(c) As correntes, barras e cabos de aço são normalmente feitos de aço especial ou de alto teor de carbono.

(d) O aço níquel-molibdênio não é facilmente cortado por cargas convencionais. O "jato" de uma carga dirigida perfurante pode penetrar nele, mas o seu corte requer várias cargas ou o uso de uma carga dirigida de corte. Uma barra deste tipo de aço pode ser cortada por uma "carga losango" (Fig 5-28), que será explicada posteriormente, ou por outro método, usando termita, acetileno ou eletrodo de corte.

c. Corte de aço de estrutura (Fig 5-14)

(1) Cálculo da carga

(a) A carga para corte de vigas metálicas, tesouras, colunas e outras estruturas de aço são calculadas pela fórmula:

$$\mathbf{C = 27\ A \text{ ou } C = 21\ D^2 \text{ para } D > 5 \text{ cm (2 Pol)}}$$

Onde: C = quantidade de TNT necessária, em gramas.

A = área da seção reta do objeto a ser cortado, em cm^2.

D = diâmetro da peça em centímetros.

(2) Problema ilustrativo

(a) Determinar a quantidade de TNT necessária para cortar a viga de aço em I, mostrada na Fig 5-14.

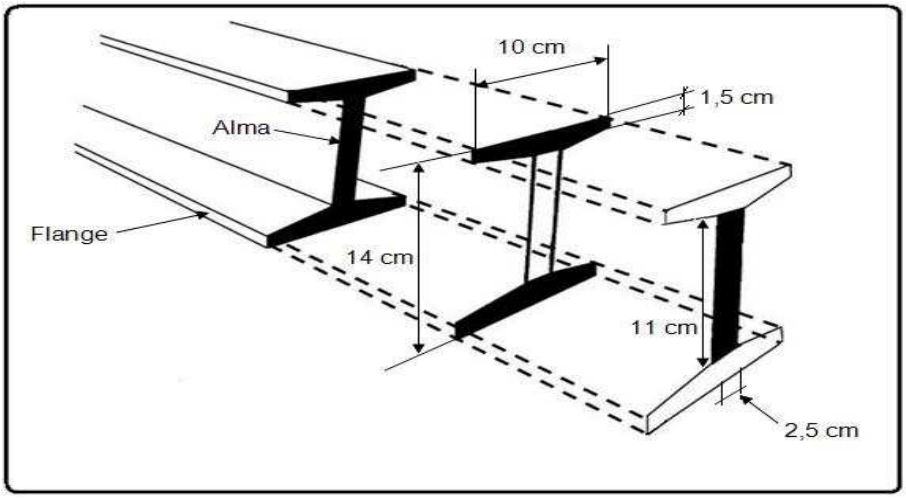


Fig 5-14. Viga de aço em "I"

(b) Cálculos:

1) Fórmula: C =27A.

2) Áreas das flanges: 2 x 10 x 1,5 = 30,0 cm² .

3) Área da alma: 11 x 2,5 = 27,5 cm².

4) Área total: 30,0 + 27,5 = 57,5 cm².

5) Emprego da fórmula: C = 27 x 57,5 = 1.553 g de TNT.

(a) Solução - Usar 16 petardos de 100 g de TNT ou 7 petardos de 250 g.

(3) Tabela para o cálculo de cargas

A tabela do Anexo H (TABELA PARA O CÁLCULO DE CARGAS PARA CORTAR AÇO DE ESTRUTURA possibilita maior rapidez no cálculo das cargas).

(4) Colocação das cargas

(a) Perfis de aço

1) O tamanho e o tipo dos perfis de aço determinam a colocação das cargas explosivas. Alguns perfis alongados podem ser cortados, colocando-se o explosivo em um dos lados da seção, ao longo da linha de ruptura desejada. Deve ser colocado mais explosivo de encontro à parte mais delgada (Fig 5-15).

2) Em algumas treliças de aço, as peças que as compõem são fabricadas com dois ou mais elementos, como vigas em "L", cantoneiras ou barras, separadas por arruelas ou peças quadradas de aço. Geralmente, a carga, em cada elemento da treliça, tem que ser distribuída pelos dois lados opostos da peça considerada (Fig 5-15), com as cargas espaçadas de uma distância, **no máximo igual à espessura da peça a ser cortada, para produzir uma ação de cisalhamento** (Fig 5-16). As cargas devem ser acionadas simultaneamente.

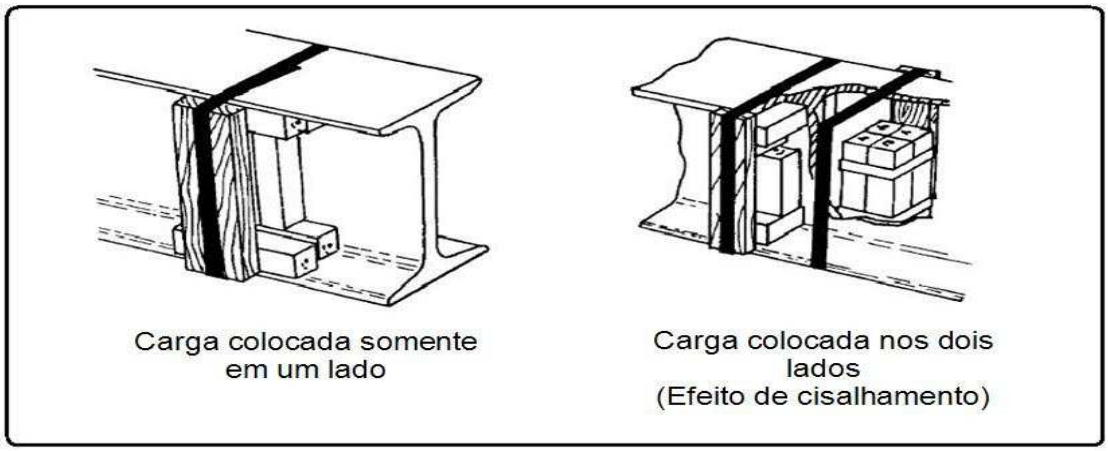


Fig 5-15. Colocação de cargas em perfis de aço

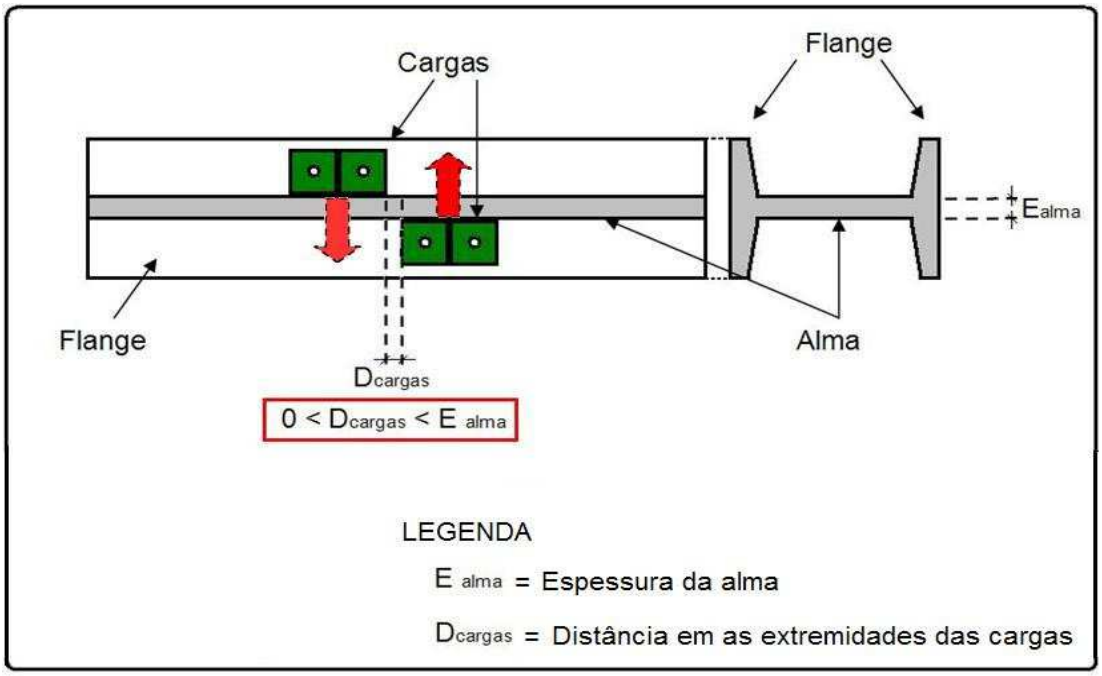


Fig 5-16. Efeito de cisalhamento

3) As vigas em "H", duplo "T" e as colunas pesadas podem exigir cargas colocadas do lado de fora das flanges. Deve-se tomar cuidado para que as duas porções da carga não fiquem frente a frente, para não se neutralizarem mutuamente (Fig 5-17).

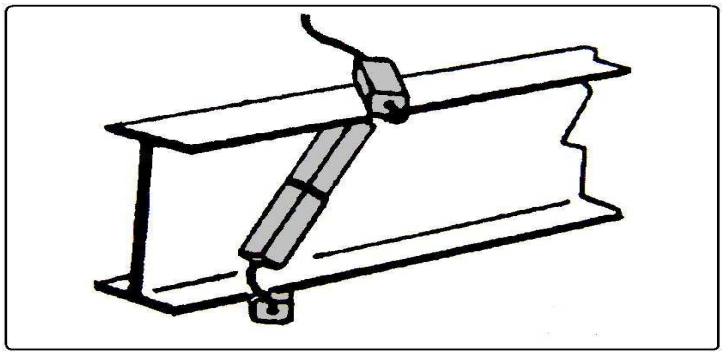


Fig 5-17. Colocação de cargas na parte externa das flanges

(b) Membros de estruturas

1) Os membros de estruturas geralmente têm forma irregular. Isto faz com que seja muito difícil a obtenção de um perfeito contato entre a carga explosiva e a superfície da peça a ser rompida.

2) Se não for possível fazer uma distribuição da carga explosiva de modo a se obter um perfeito contato entre ela e o elemento a ser destruído, a quantidade de explosivo deve ser aumentada.

3) O mais recomendado é a utilização de explosivos plásticos para tais destruições, pois como são flexíveis permitem um melhor contato entre a carga e o objeto a ser cortado.

(c) Manutenção das cargas no lugar - todos os explosivos devem ser amarrados, presos com fita isolante ou entalados com peças de madeira no local adequado, visando o seu máximo contato com a superfície a ser destruída.

d. Corte de placas

A ruptura de placas simples ou compostas é obtida por uma carga alongada disposta sobre todo o comprimento ou largura da peça a ser cortada (Fig 5-18).

(1) Placas Simples (Fig 5-18)

A quantidade de explosivo é dada por urna das fórmulas:

C = 10 Le, para e < 5 cm, ou;

C =20 Le, para 5 cm < e < 8 cm

Onde: C = quantidade de TNT, em gramas.

L = comprimento do corte desejado, em centímetros.

e = espessura da placa, em centímetros.

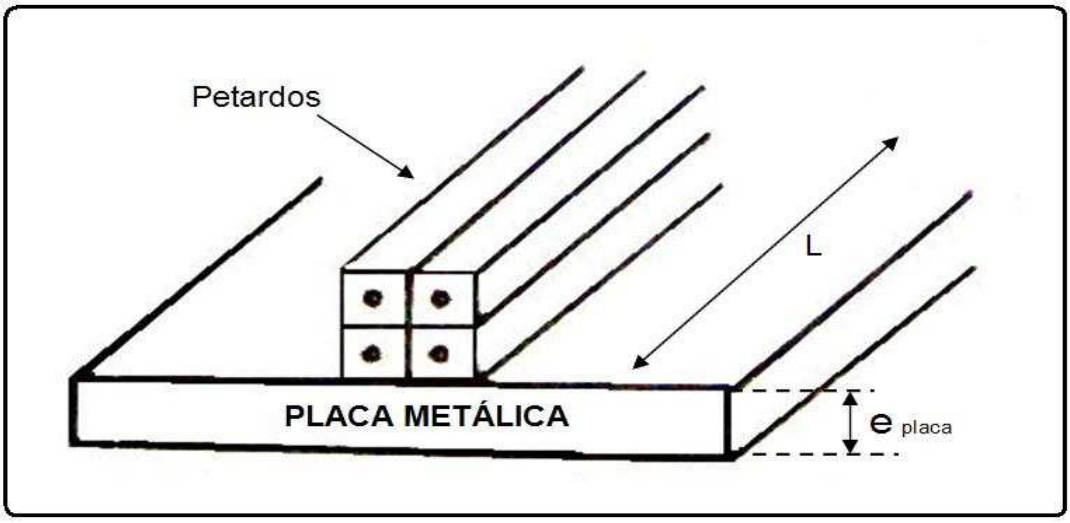


Fig 5-18. Corte de placas simples

(2) Placas Compostas (Fig 5-19)

A quantidade de explosivo é dada pela fórmula:

$$C = 5\ Le\ (n+2),\ \text{para}\ e \leq 8\ cm$$

Onde: **C**, **L** e **e** têm o mesmo significado da fórmula anterior.

n = número de placas simples.

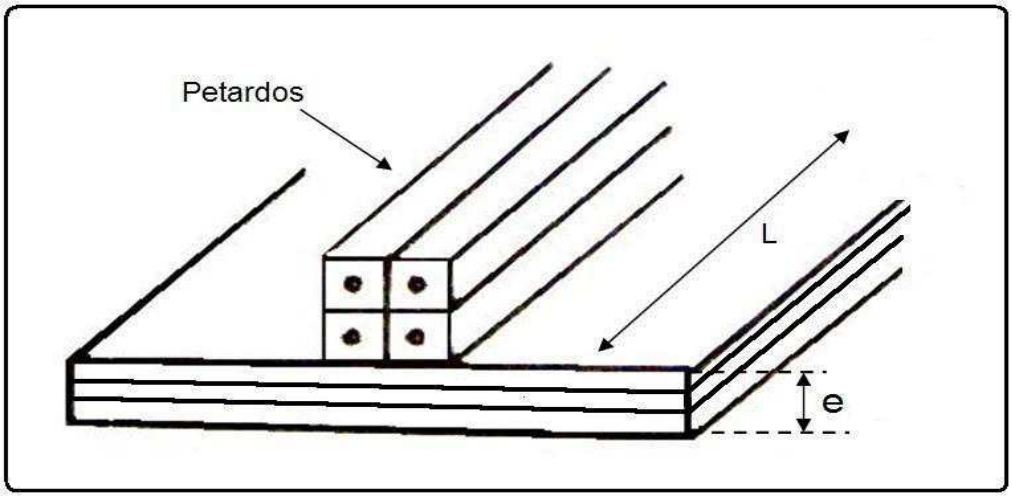


Fig 5-19. Corte de placas compostas

(3) Observações

(a) Os petardos devem ser dispostos ao longo da parte a ser cortada, sendo a sua seção transversal mais "quadrada" possível.

(b) Quando utilizar explosivo plástico, verificar o parágrafo 5-4.

(c) Para o corte de placas simples ou compostas de espessura superior a 8 cm, empregar as cargas dirigidas cortantes.

(4) Problema ilustrativo

(a) Determinar a quantidade de petardos de 250 g de TNT necessária para cortar uma placa composta de 4 folhas, com uma espessura total de 4,8 cm, em uma extensão de 1,20 m.

(b) Cálculos:

1) Fórmula: C = 5Le (n+2).

2) Valores de: L= 120 cm; e =4,8 cm; n =4.

3) Aplicação da fórmula C= 5 x 120 x 4,8 (4+2) = 17.280g .

(c) Solução: Usar 70 petardos de 250g de TNT.

e. Corte de aços especiais e com alto teor de carbono

(1) Cálculo da carga

(a) A carga para cortar estes tipos de aço é calculada pela formula.

$$\mathbf{C = 70\ D^2\ (para\ D \geq 5\ cm)}$$

Onde: C= quantidade de TNT necessária, em gramas.

A= área da seção reta do objeto a ser cortado, em cm^2.

D = diâmetro da peça, em centímetros.

(b) Esta fórmula é usada para o cálculo de cargas para cortar correntes, peças forjadas de alta resistência, eixos de aço, peças de maquinaria e ferramentas resistentes com **diâmetro maior do que 5 cm** (2 polegadas).

(c) Quando o diâmetro for menor do que 5 cm, e também para vergalhões de concreto armado, onde as suas dimensões tornam difícil a colocação das cargas, usar a seguinte fórmula:

$$\mathbf{C = 180\ D\ (para\ D < 5\ cm)}$$

Onde: C =quantidade de TNT necessária, em gramas.

D = diâmetro da peça, em centímetros.

(d) Quando o **diâmetro for maior do que 7 cm** a carga total deve ser dividida em **duas porções iguais**, que deverão ser dispostas de encontro a um lado e do outro da barra, visando a obter o **cisalhamento** da mesma. O intervalo "i" entre as cargas deve ser menor do que o diâmetro (D) da peça a ser destruída (Fig 5-20).

(e) As correntes devem ser cortadas em dois lugares (um em cada perna do elo). Se o explosivo tiver um comprimento tal que se sobreponha às duas pernas do elo, ou seja, suficientemente estreito para se ajustar perfeitamente entre as duas pernas, usar uma única carga. Se o explosivo não conseguir abranger os dois lados, usar duas cargas separadas (Fig 5-21).

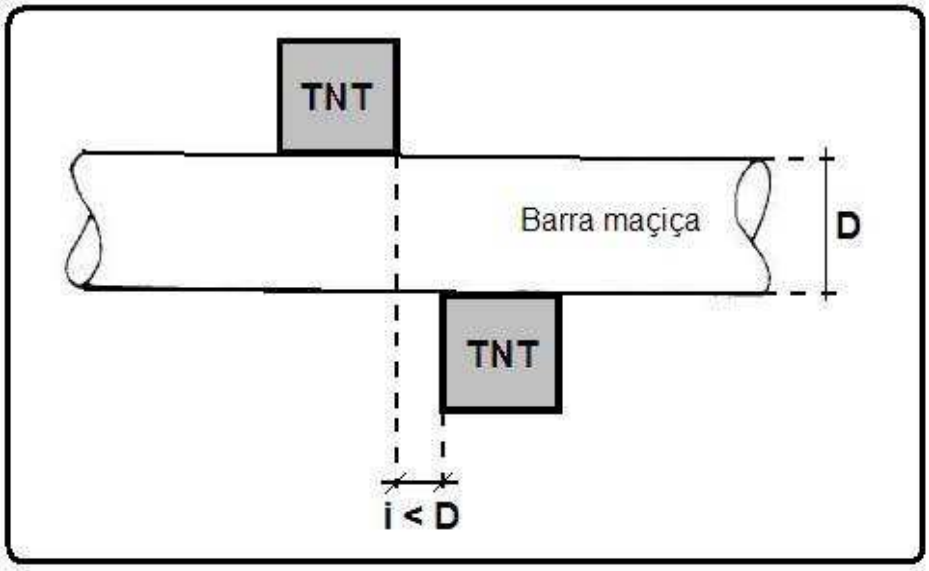


Fig 5-20. Colocação de cargas em barra de aço

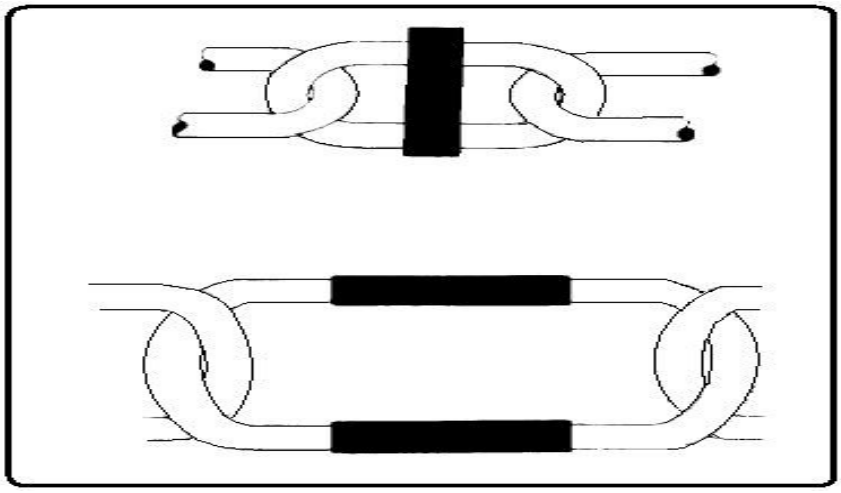


Fig 5-21. Corte de corrente

(2) Problema ilustrativo

(a) Determinar a quantidade de TNT necessária para cortar uma corrente de aço de diâmetro 3/8"(0,95 cm), considerando-se que a distância entre os pernas do elo seja de 4 cm.

1) Diâmetro do elo da corrente: 3/8 Pol (0,95 cm).

2) Distância entre as pernas do elo: 4 cm.

3) Fórmula: C = 180 D $\rightarrow$ C = 180 x 0,95 = 171g de TNT.

4) Como o comprimento do petardo de 100 g é de 8,0 cm e a distância entre as pernas do elo é de 4 cm, usar uma única carga composta por 2 petardos de 100 g de TNT para cortar a corrente.

f. Corte de cabos de aço (Fig 5-22)

(1) Cálculo da carga

(a) A carga total necessária é dada por uma das fórmulas:

$$C = 80\ D^2 \text{ para } D \leq 5 \text{ cm (2 Polegadas); ou}$$

$$C = 160\ D^2 \text{ para } 5 \leq D \leq 10 \text{ cm (4 Polegadas)}$$

Onde: C = quantidade de TNT necessária, em gramas.

D = diâmetro do cabo de aço, em centímetros.

(b) Para os cabos de aço de diâmetro superior a 10 cm (4 Pol), é mais indicado empregado usar as cargas dirigidas cortantes.

(2) Colocação das cargas

(a) A carga total deve ser dividida em duas porções iguais, a serem colocadas de um lado e do outro da seção a ser cortada, visando a obter o corte por cisalhamento do cabo de aço.

b) O efeito máximo de ruptura é obtido espaçando-se as duas porções de carga de um intervalo “i" pouco menor do que o diâmetro (D) do cabo de aço (i < D).

(c) Buscar o máximo contato possível entre a carga e o cabo de aço a ser cortado.

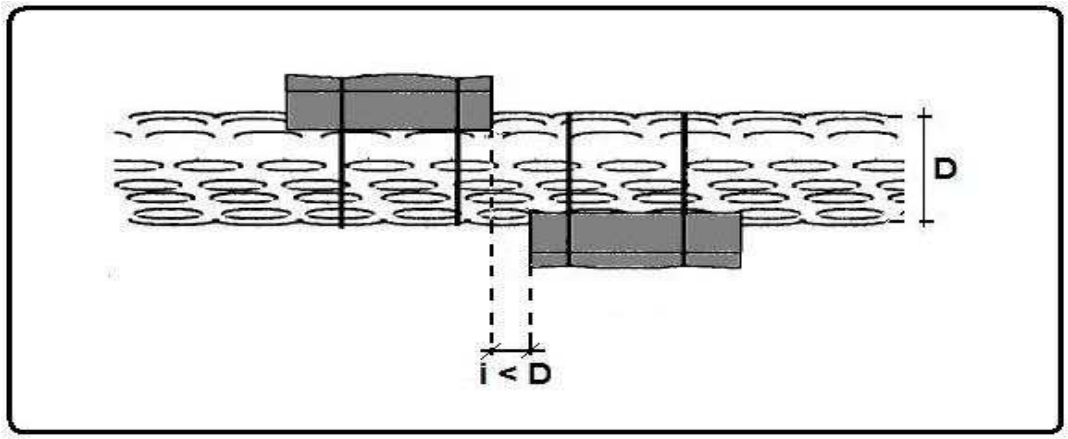


Fig 5-22. Colocação de cargas em cabo de aço

g. Corte de trilhos de ferrovias (Fig 5-23)

(1) A altura do trilho é a dimensão crítica para calcular a quantidade de explosivo necessária para destruí-lo. Assim:

(a) para cortar trilhos com mais de 12,5 cm (5 Pol) de altura (incluindo sapata e boleto), usar uma carga de 500g de TNT de encontro à sua alma (Fig 5-23);

(b) para trilhos com menos de 12,5 cm (5 Pol) usar uma carga de 250g de TNT; e

(c) caso utilize o efeito de cisalhamento, deve-se duplicar a quantidade de carga e dividi-la nos dois lados do trilho, posicionando conforme Fig 5-16.

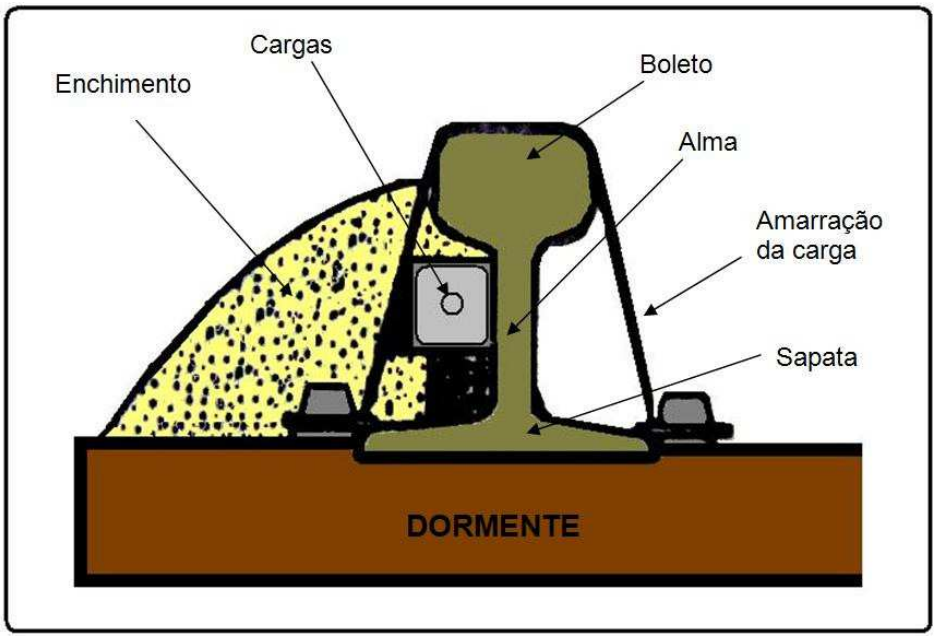


Fig 5-23. Colocação de cargas em trilho de trem

(2) Se possível, coloque cargas para destruir pontos vulneráveis, tais como bifurcações, curvas, desvios e cruzamentos (Fig 5-24). Em linhas de junção alternativas (estações, área de manutenção, linha de desvio etc) coloque as cargas a uma distância de 150 metros da junção.

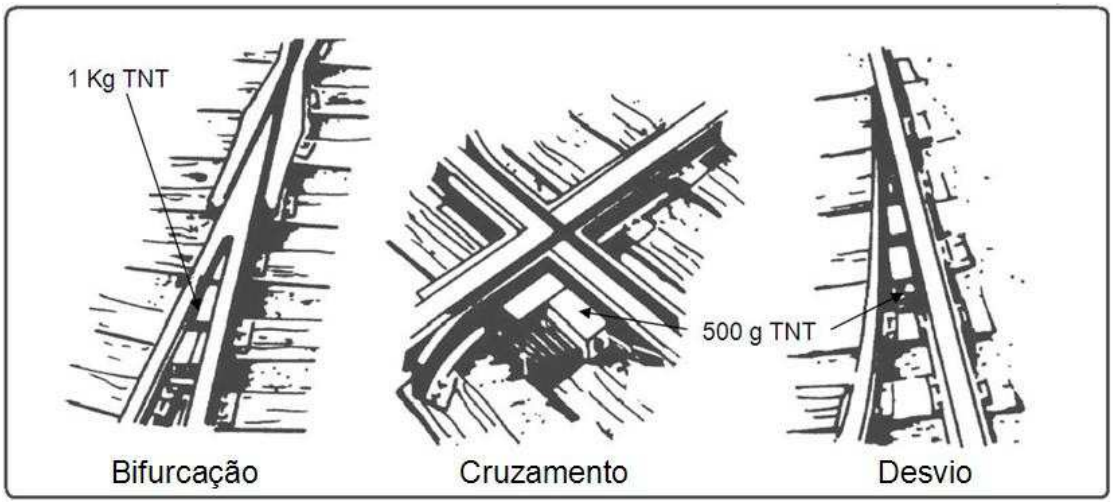


Fig 5-24. Colocação de cargas em trilhos de trem

4. USO DE EXPLOSIVOS PLÁSTICOS

a. Generalidades

(1) Quando usar explosivos plásticos, placas ou folhas explosivas, aplicar as fórmulas apresentadas neste parágrafo.

(2) O cálculo das cargas é baseado nas dimensões da peça a ser cortada. Sua preparação poderá exigir um tempo extra, pois é necessário ter precisão e cuidados especiais em sua medição para alcançar um efeito eficiente. Com alguma prática, essas cargas podem ser calculadas, preparadas e instaladas em menos tempo do que as de TNT.

(3) As cargas também podem ser preparadas com antecedência e acondicionadas em papel alumínio ou papel parafinado, que deve ser removido quando o explosivo for fixado ao alvo.

(4) Ao preparar a carga, evitar moldar o explosivo. Preferencialmente, cortá-lo nas dimensões adequadas. Moldando-se o explosivo reduz-se a sua densidade, com a consequente perda de eficácia.

(5) O escorvamento normalmente necessita de uma espoleta, pois as cargas de maneira geral são finas, dificultando o uso dos nós de cordel detonante. Deve-se escorvar a carga pelo seu centro ou por uma das suas extremidades.

b. Tipos de cargas

(1) Carga fita (Fig 5-25)

(a) Esta carga é usada para cortar placas de aço e pode ser constituída por qualquer explosivo plástico (Plastex, Blade etc). Esses explosivos são utilizados sob a forma de cargas alongadas, de seção transversal retangular.

(b) Cálculo da carga

1) As dimensões da carga dependerão da espessura da placa a ser cortada.

2) A espessura mínima da carga (E) deverá ser 1,5 cm.

3) Fórmula:

E = e/2 L = 3 E

Onde: E= espessura da carga explosiva, em centímetros.

L= largura da carga explosiva, em centímetros. e

= espessura da placa, em centímetros.

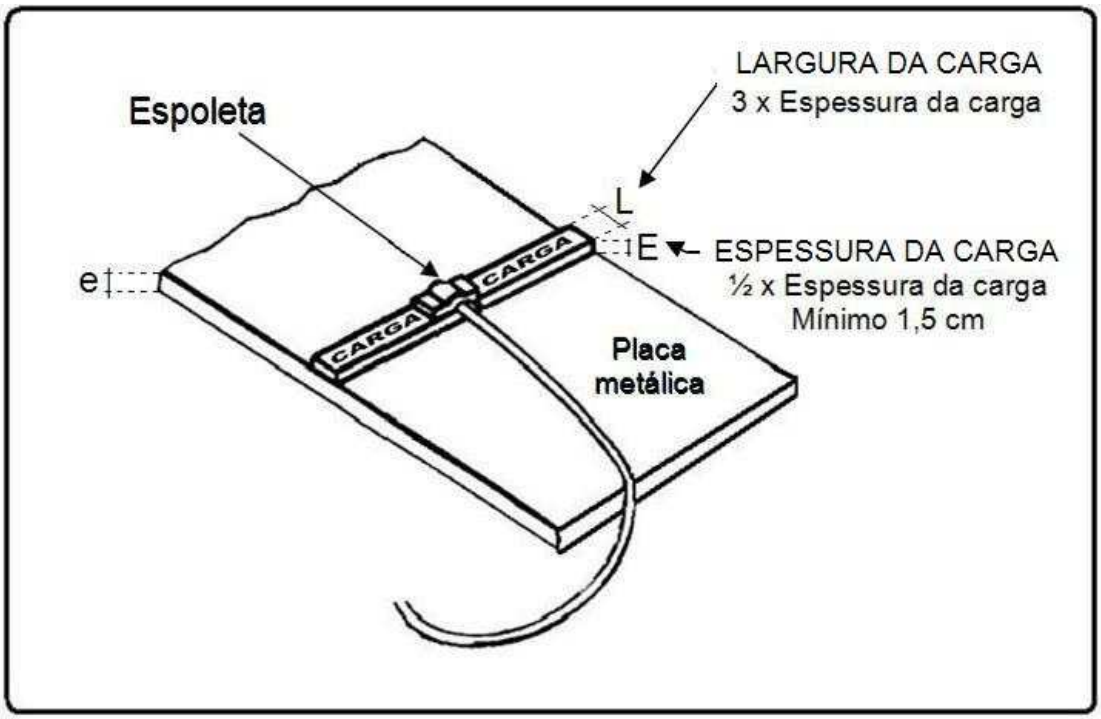


Fig 5-25. Carga fita

(c) Colocação da carga

Cortar a carga com a forma e dimensões corretas da placa a ser cortada, fixando-a firmemente como mostra a Fig 5-25. Se necessário, usar fita adesiva ou outro material que facilite a sua fixação.

(d) Escorvamento

Escorvar a carga pelo seu centro ou por uma das suas extremidades. Quando a carga for muito fina (menos de 2 cm), pode ser necessário colocar mais explosivo em torno da espoleta.

(e) Problema ilustrativo

1) Determinar as dimensões de uma "carga fita" para cortar uma chapa de aço de 2,5 cm de espessura num comprimento de 30 cm.

2) Solução:

- comprimento da carga: 30 cm.
- espessura da carga: (E: e/2): E = 2,5/2 = 1,25 cm.
- espessura mínima: E = 1,5 cm.
- largura ela carga (L = 3E): L = 3 x 1,5 = 4,5 cm.
- Usar uma carga de 30 x 4,5 x 1,5 cm.

(f) A "carga fita" também é utilizada para cortar aços de estrutura (Fig 5-26).

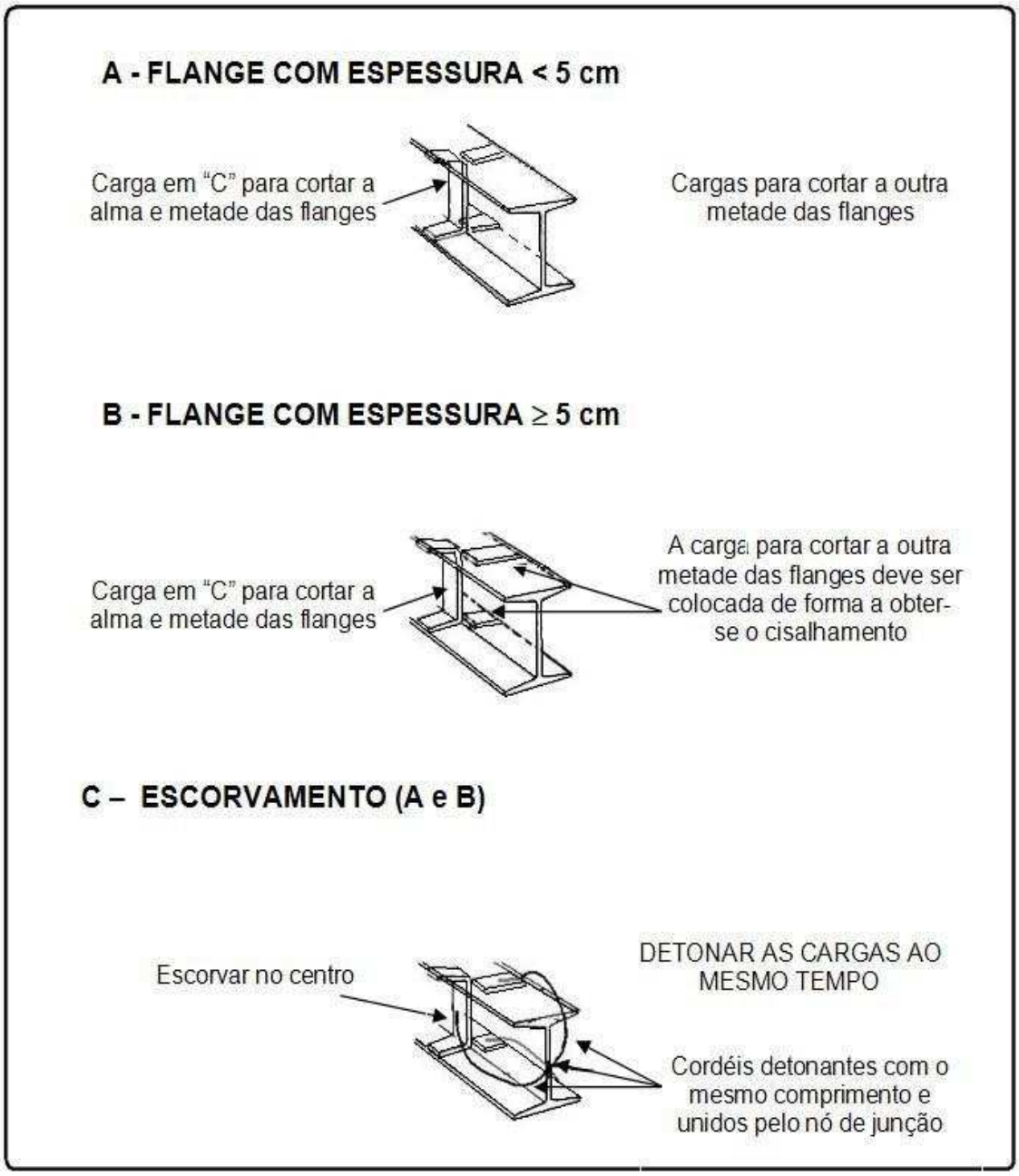

A - FLANGE COM ESPESSURA < 5 cm
Carga em "C" para cortar a alma e metade das flanges
Cargas para cortar a outra metade das flanges
B - FLANGE COM ESPESSURA ≥ 5 cm
Carga em "C" para cortar a alma e metade das flanges
A carga para cortar a outra metade das flanges deve ser colocada de forma a obter-se o cisalhamento
C – ESCORVAMENTO (A e B)
Escorvar no centro
DETONAR AS CARGAS AO MESMO TEMPO
Cordéis detonantes com o mesmo comprimento e unidos pelo nó de junção

Fig 5-26. Colocação da "carga fita" em aços de estrutura

1) Em vigas "I" de flanges de espessura menor do que 5 cm (2 Pol), colocar o explosivo como indicado na Fig 5-26A.

2) Em vigas de flanges de espessura igual a 5 cm (2 Pol) ou maior, colocar as cargas como mostrado na Fig 5-26B.

3) OBSERVAÇÃO - as cargas devem ser detonadas no mesmo instante. Isto pode ser obtido escorvando-se as cargas com três espoletas elétricas ligadas em série, ou com três pedaços de cordel detonante, com o mesmo comprimento, tendo espoletas comuns fixadas em suas extremidades e colocadas nas cargas, conforme mostra a Fig 5-26C. A iniciação do cordel detonante pode ser realizada por qualquer processo.

(2) Carga "triângulo" (Fig 5-27)

(a) Este tipo de carga é usada para cortar barras de aço doce, redondas, quadradas ou retangulares com até 60 cm de perímetro ou 20 cm de diâmetro. A ruptura é obtida pelo efeito de quebra transversal produzida ao longo da base do triângulo.

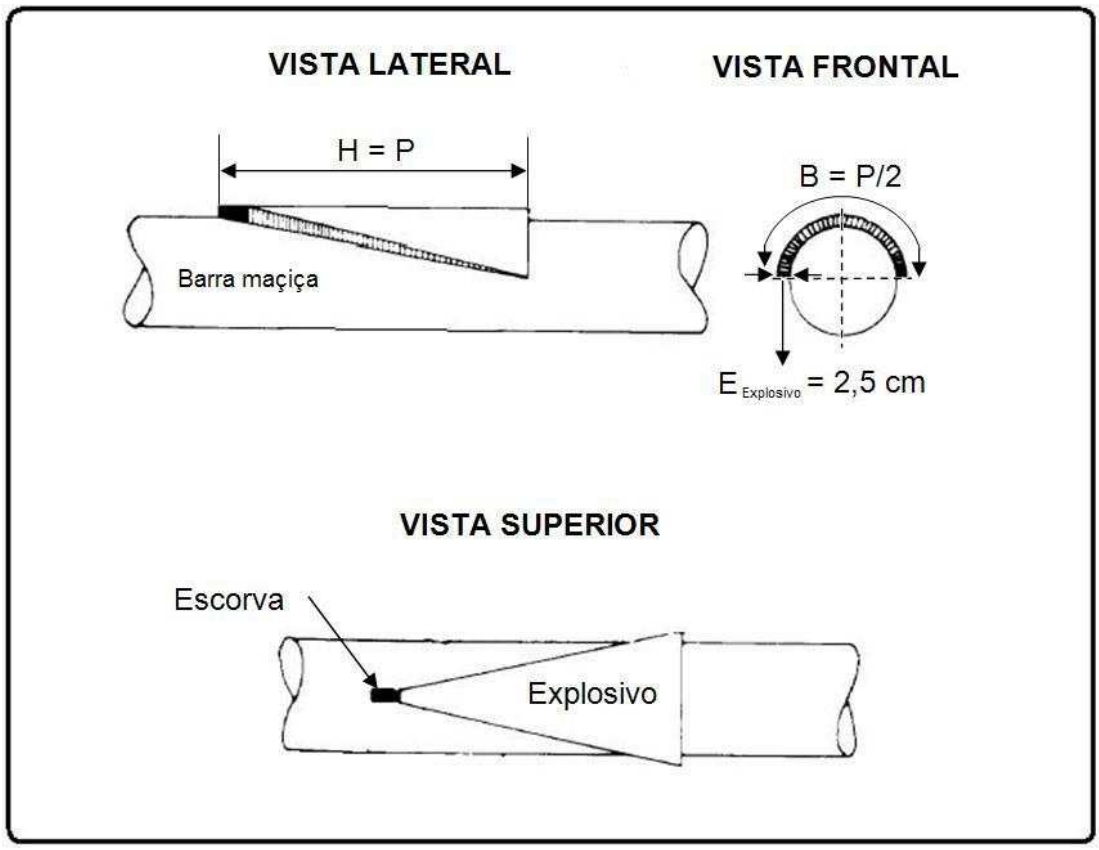


Fig 5-27. Carga "triângulo"

(b) Cálculo da carga - a carga deverá ter a forma de um triângulo isósceles com as seguintes dimensões (Fig 5-27):

1) Altura (H): igual ao perímetro do objeto a ser cortado (H = P), em centímetros;

2) Base (B): igual à metade do perímetro do objeto a ser cortado (B = P/2), em centímetros; e

3) Espessura (E): igual a 2,5 cm (padrão) (E = 2,5 cm).

4) **OBSERVAÇÃO**: para efeito de cálculo, pode-se adotar para o perímetro do círculo o valor de P = 6R ou P = 3D, sendo R e D, respectivamente, o seu raio e diâmetro, em centímetros.

(c) Colocação da carga

Cortar a carga com a forma e dimensões corretas e moldá-la em torno da barra a ser cortada, fixando-a firmemente como mostra a Fig 5-27. Se necessário, usar fita adesiva ou outro material que facilite a sua fixação.

(d) Escorvamento - o escorvamento é feito obrigatoriamente no vértice do triângulo isósceles. Se necessário, colocar mais explosivo em torno da espoleta.

(e) Problema ilustrativo - determinar as dimensões de uma carga para cortar uma barra de aço doce de diâmetro igual a 15 cm (6 Pol).

1) Solução:

a) altura do triângulo: H=P ∴ H=3D ∴ H=3x15 ∴ H=45 cm. b)

base do triângulo: B = P/2 ∴ B = 45/2 ∴ B = 22,5 cm.

c) espessura: E = 2,5 cm (padrão).

d) Usar uma carga triangular com as seguintes dimensões: espessura = 2,5 cm; base = 23 cm; altura = 45 cm.

(3) Carga “diamante” (ou “losango”) (Fig 5-28)

(a) Usar esta técnica para cortar barras de aço de alto teor de carbono e de aço especial, quadradas, retangulares ou redondas, de perímetro até 60 cm ou 20 cm de diâmetro. A ruptura é obtida pelo efeito de colisão de duas ondas de choque, provocadas pela explosão simultânea das duas extremidades de uma mesma carga.

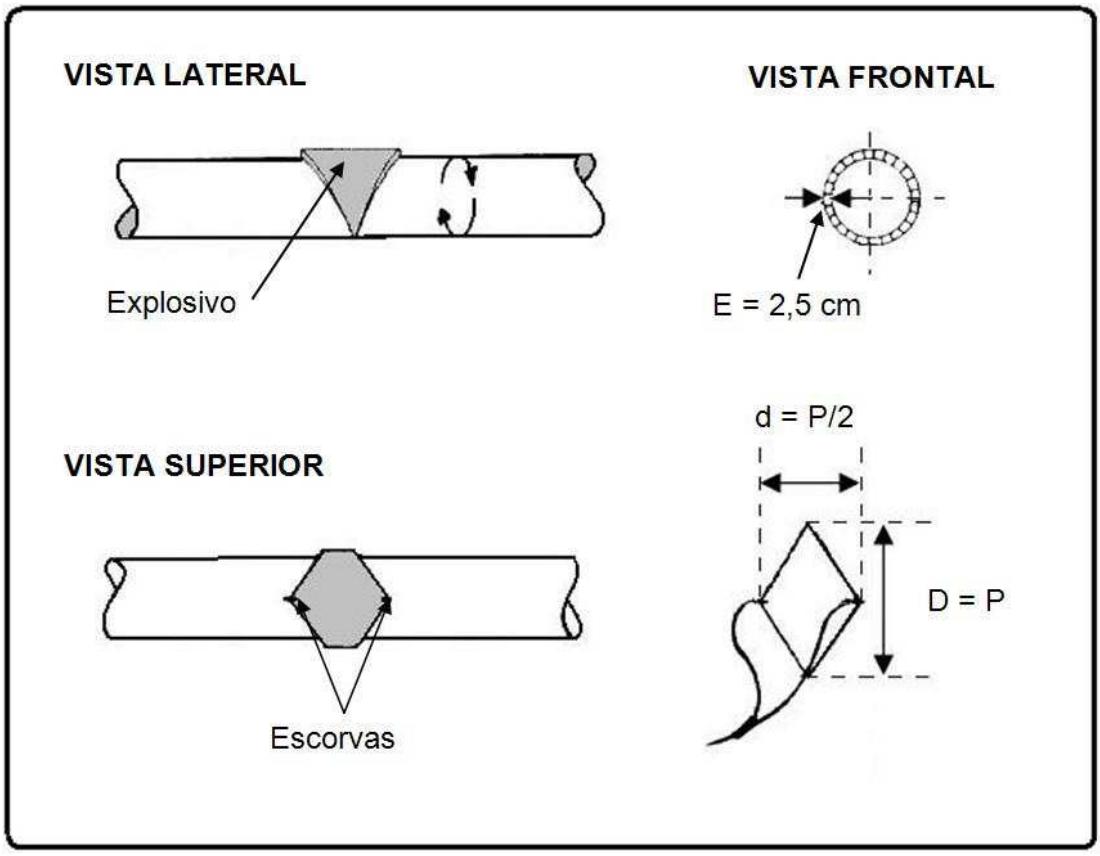


Fig 5-28. Carga “diamante" ou "losango”

(b) Cálculo da carga - carga deverá ter a forma de um losango com as seguintes dimensões (Fig 5-28):

1) Grande Diagonal (D): igual ao perímetro do objeto a ser cortado (D = P), em centímetros;

2) Pequena Diagonal (d): igual à metade do perímetro do objeto a ser cortado (d = P/2), em centímetros; e

3) Espessura (E): igual a 2,5 cm (E = 2,5 cm).

4) **OBSERVAÇÃO**: Pode ser adotado para perímetro do círculo o valor de P = 6R ou P = 3D.

(c) Colocação da carga

Cortar a carga com a forma e dimensões corretas e moldá-la em torno da barra a ser cortada, de modo que as duas pontas da Grande Diagonal se toquem. Se necessário, aumentar as dimensões da carga para que isto aconteça. Fixar a carga fortemente contra a barra.

(d) Escorvamento

A detonação de uma “carga diamante" deve ser simultânea nas extremidades da Pequena Diagonal. Isto pode ser obtido escorvando-se a carga com duas espoletas elétricas ligadas em série ou com dois pedaços de cordel detonante, com o mesmo comprimento, tendo espoletas comuns fixadas em sua

extremidade e colocadas na carga, conforme mostra a Fig 5-28. A iniciação dos dois pedaços de cordel detonante pode ser realizada por qualquer processo de lançamento de fogo. Se necessário, colocar mais explosivo em torno da espoleta.

(e) Problema ilustrativo

1) Determinar as dimensões de uma carga para cortar uma barra de aço especial de diâmetro igual a 12,7 cm (5 Pol).

2) Solução:

a) Grande Diagonal: D = P ∴ D = 3D ∴ D = 3 x 12,7 ∴ D = 38 cm.

b) Pequena Diagonal: d = P/2 ∴ d = 38/2 ∴ d = 19 cm.

c) Espessura: E = 2,5 cm.

d) Usar uma carga diamante com as seguintes dimensões:

Grande Diagonal = 38 cm; Pequena Diagonal = 19 cm; Espessura = 2,5 cm.

5. CARGAS DE PRESSÃO

a. Generalidades

(1) As cargas de pressão são empregadas na destruição de:

(a) pontes de lance simples de laje de concreto; e

(b) pontes de lance simples de laje e vigas em "T", de concreto.

(2) As cargas de pressão visam a romper parcialmente o lance, sobrecarregando-o. Isto força a ponte a romper-se no meio do lance, desligando-o dos encontros ou dos pilares.

(3) O uso de cargas de pressão, em pontes de vigas contínuas de concreto armado, normalmente, não produz uma destruição satisfatória, implicando, de certa forma, no desperdício de explosivo (Fig 5-29).

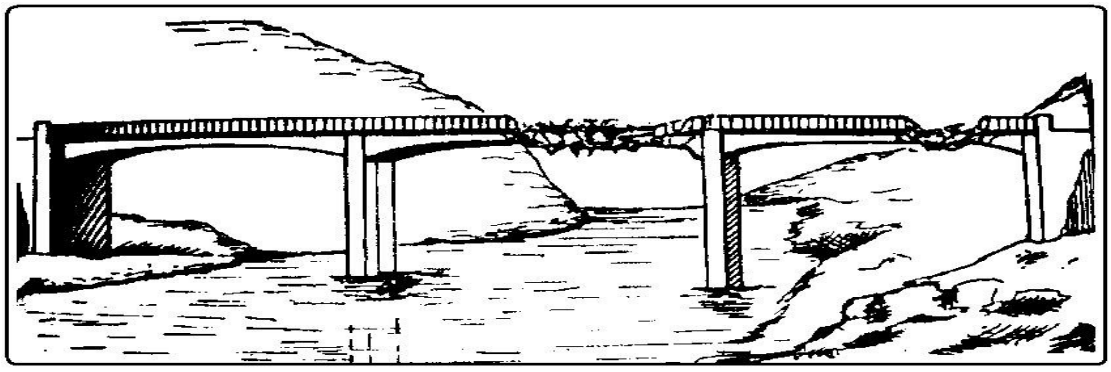


Fig 5-29. Efeito de carga de pressão em ponte de vigas contínuas

(4) As cargas de pressão são facilmente calculadas e colocadas mais rapidamente do que as cargas a serem postas sob a ponte, sendo mais indicadas

para as pontes constituídas por lances simples de concreto (Fig 5-30).

(5) O Capítulo 6 detalha todos os procedimentos específicos para a destruição dos diversos tipos de pontes existentes.

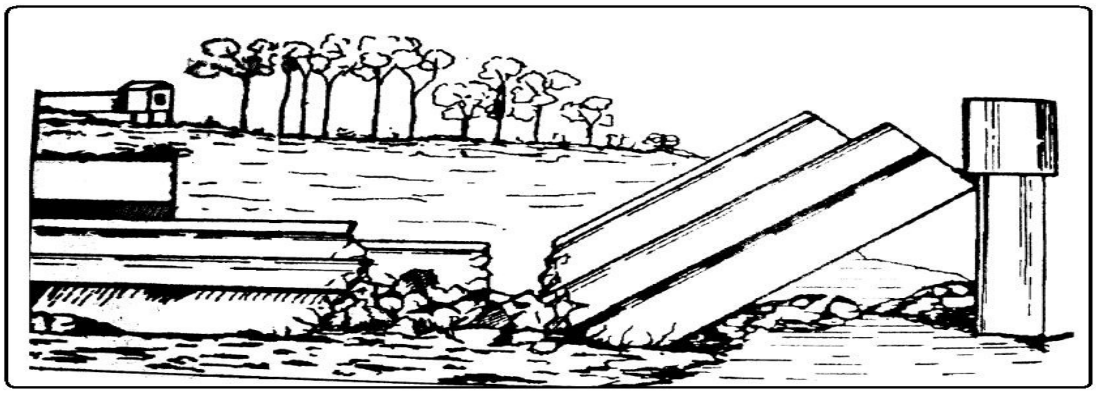


Fig 5-30. Efeito de carga de pressão em ponte de laje simples

b. Cálculo da carga

(1) Considerações preliminares

(a) A quantidade de explosivos necessária é calculada em quilos de TNT. Quando for usado outro explosivo, o valor calculado deve ser ajustado.

(b) O valor mínimo, a ser adotado para a altura, espessura e largura da laje ou das vigas de concreto, deve ser 0,3 m.

(c) O enchimento mínimo aceitável é de 30 cm. Não sendo possível colocar este enchimento mínimo, aumentar a carga de 1/3 (multiplicar o resultado por 4/3 ou por 1,33).

(2) Ponte de lance simples de laje de concreto (Fig 5-31)

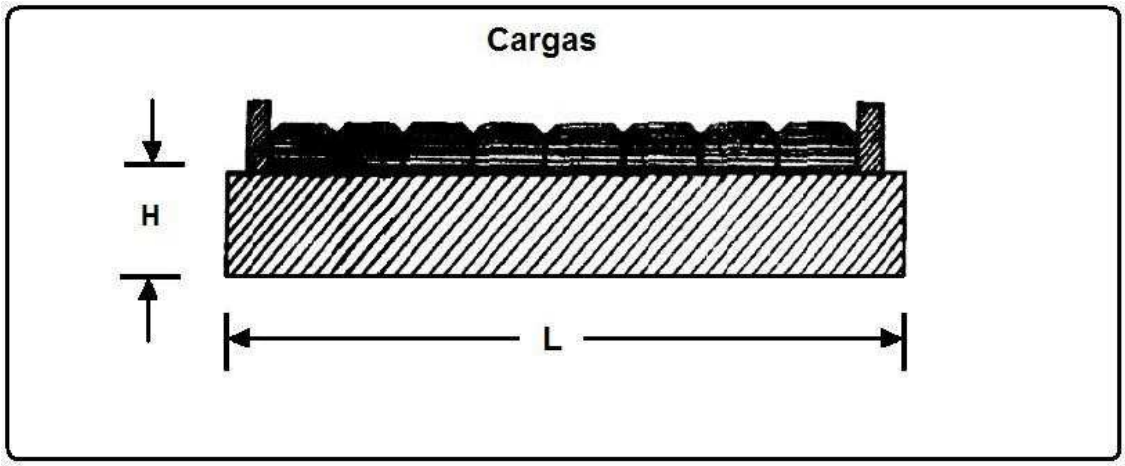


Fig 5-31. Perfil Transversal da ponte de laje de concreto

(a) Fórmula:

$$C = 50\ H^2\ L$$

Onde: C = carga de TNT por lance, em kg.

H = espessura da laje, incluindo o tabuleiro, em metros.

L = largura da laje, em metros.

(b) Observações

1) multiplicar o valor da carga encontrada pelo número de lances, se desejar destruir mais de um lance;

2) as cargas devem ser colocadas no meio do lance.

(c) Tabela - para o cálculo rápido de cargas, consultar a tabela constante do Anexo I.

(3) Ponte de lance simples de laje e vigas em "T", de concreto (Fig 5-32)

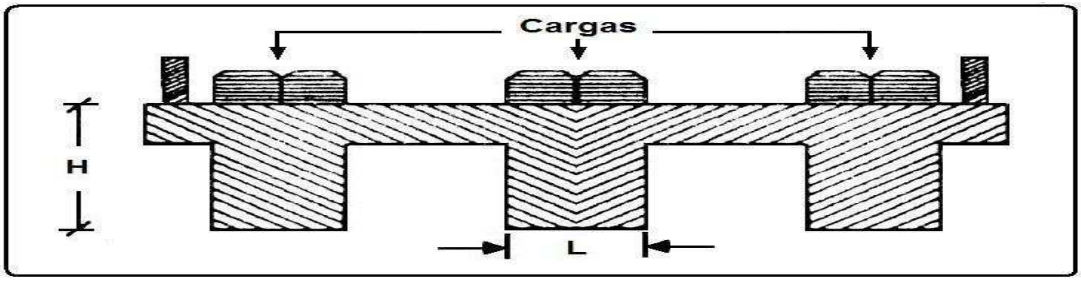


Fig 5-32. Perfil transversal da ponte de laje e vigas em "T".

(a) Fórmula:

$$C = 50\ H^2\ L$$

Onde: C = carga de TNT por viga, em kg.
H = altura da viga, incluindo o tabuleiro, em metros.
L = largura da viga, em metros.

(b) Observações:

1) multiplicar o valor da carga encontrada pelo número de vigas iguais e pelo número de lances a ser destruídos; e

2) as cargas devem ser colocadas no meio do lance e sobre as vigas (Fig 5-32).

(c) Tabela - para o cálculo rápido de cargas, consultar a tabela constante do Anexo J.

(4) Problema ilustrativo

(a) Determinar a quantidade de petardos de 1 kg de TNT necessária para destruir um lance de ponte mostrado na Fig 5-33, com cargas de pressão, com enchimento.

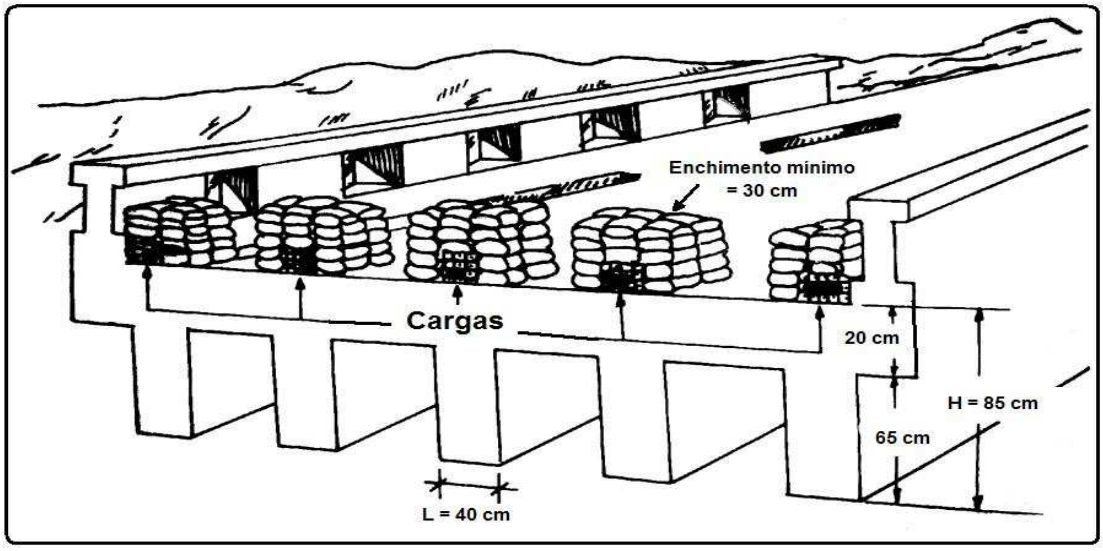


Fig 5-33. Perfil transversal da ponte

(b) Solução

1) Trata-se de uma ponte de lance simples de laje e vigas em T, de concreto.

2) Fórmula: **50 H² L**

3) Cálculos:

- C = 50 X 0,85² X 0,40 = 14,45 kg.

- usar 15 petardos de 1 kg de TNT por viga.

- 5 vigas: 5 x 15 = 75 petardos.

4) Serão necessários 75 petardos de1 kg de TNT.

c. Colocação das cargas

(1) Ponte de lance simples de laje de concreto

Colocar a carga transversalmente, sobre a chapa de rodagem, alinhada no meio do lance, como mostra Fig 5-31.

(2) Ponte de lance simples de laje e vigas em T, de concreto (Fig 5-32)

(a) Colocar a carga apropriada sobre a chapa de rodagem, alinhada no meio do lance e sobre o eixo de cada viga, como mostra a Fig 5-32.

(b) Quando um passeio ou rodapé impedir a colocação da carga diretamente sobre a viga, instalá-Ia o mais próximo possível desta. Não é necessário aumentar a carga.

(3) Observações comuns aos dois tipos de pontes

(a) A carga deve ter a forma de um paralelepípedo:

1) com a sua largura igual a aproximadamente 3 vezes a espessura da carga; e

2) com o seu comprimento abrangendo a extensão a ser rompida.

(b) Todas as cargas devem ser escorvadas de tal modo que sejam acionadas simultaneamente.

(c) O enchimento mínimo aceitável é de 30 cm.

d. Efeitos da explosão

(1) As cargas de pressão, normalmente, destroem todo o concreto da chapa de rodagem, em toda a sua largura e em um comprimento igual a duas vezes a espessura da laje ou altura da viga (2H).

(2) O lance da ponte é quebrado na linha das cargas e os pedaços da ponte são quebrados ou deslocados de seus apoios, tombando sobre a brecha (Fig 5-30).

(3) Em função disso, é fácil entender porque uma ponte de vigas contínuas não é destruída satisfatoriamente pelas cargas de pressão, visto que as extremidades dos lances não são livres para serem quebrados ou arrancados dos suportes.

(4) A Fig 5-30 mostra uma destruição eficiente realizada com cargas de pressão em lance simples. Comparar esse resultado com a destruição ineficiente mostrada na Fig 5-29, onde foram colocadas cargas de pressão em uma ponte de vigas contínuas.

6. CARGAS DE RUPTURA

a. Generalidades

(1) As cargas de ruptura são utilizadas, principalmente, na destruição de lajes, vigas, pilares e encontros de pontes de concreto armado e de fortificações de campanha.

(2) O tamanho, forma, colocação e enchimento ou confinamento das cargas de ruptura são considerados como fatores críticos.

(3) O tamanho e o confinamento do explosivo são os fatores mais importantes devido à resistência e ao volume do material a ser rompido.

(4) Os explosivos de ruptura ao detonarem produzem energia suficiente para romper e lascar este tipo de material.

(5) A estrutura de aço do concreto, normalmente, não é cortada pela carga de ruptura. Se isto for necessário, após o rompimento do concreto, usar as fórmulas para o corte de aço apresentadas anteriormente.

b. Cálculo da carga de ruptura

(1) Fórmula

1) Uma carga de TNT para romper concreto, alvenaria, rocha ou material semelhante é calculada pela fórmula apresentada a seguir.

2) Quando usar outro explosivo diferente do TNT, ajustar o valor de C utilizando o Efeito Relativo (ver anexo A).

$$C = 16\ R^3\ K\ E$$

Onde: C = carga de TNT, em kg.

R = raio de ruptura, em metros (Fig 5-34).

K = coeficiente do material, em função da resistência do material a ser destruído (Tab 5-1).

E = coeficiente do enchimento, em função da localização e do enchimento da carga (Fig 5-35).

(2) Raio de Ruptura (R)

(a) O raio de ruptura é a distância, em metros, em torno do explosivo, dentro da qual todo o material é deslocado ou destruído.

(b) O raio de ruptura, para cargas externas, é igual à espessura da massa a ser rompida (1º Caso - Fig 5-34).

(c) Para cargas internas, é igual à metade da espessura da massa a ser destruída, se a carga estiver colocada no meio da massa (2º Caso - Fig 5-34).

(d) Se a carga interna está colocada a uma distância menor que a metade da massa a ser destruída, considera-se, como raio de ruptura, a maior distância entre a carga e a superfície da massa (3º Caso - Fig 5-34). Por exemplo: se uma carga interna está colocada a 25 cm da superfície de um pilar de concreto de largura 1,0m, o raio de ruptura será 75 cm.

(e) O raio de ruptura (R) deve ser arredondado para mais, para um valor múltiplo de 0,25 m. Por exemplo, para romper uma parede de concreto de 0,9 m, colocando uma carga em um dos seus lados, o valor de R na fórmula $C = 16\ R^3\ K\ E$ é 1,0 m.

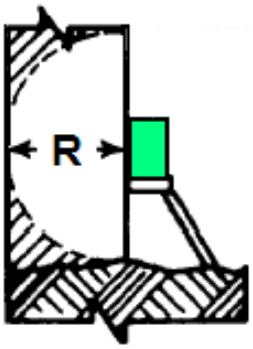
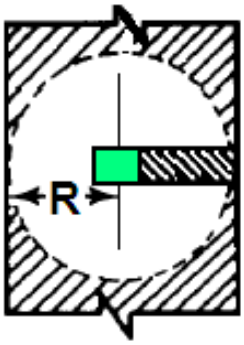
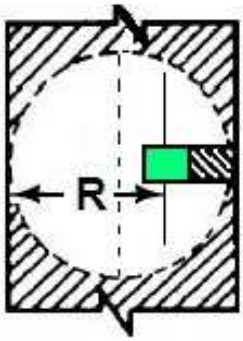
1º CASO	2º CASO	3º CASO
		
"R" igual à espessura da massa a ser rompida	**"R" igual à metade da espessura da massa a ser rompida**	**"R"igual à maior distância entre a carga e a superfície da massa**

Fig 5-34 Valores de "R" para cargas de ruptura

(3) Coeficiente de Material (K)

(a) O coeficiente K é considerado em função da resistência do material a ser rompido.

(b) Os valores de K são fornecidos pela Tab 5-1.

(c) Se não for possível identificar perfeitamente o material, adotar os valores para o tipo mais resistente.

Material	Raio de Ruptura	K
- Terra	Todos os valores	0,07
- Alvenaria fraca - Arenito - Rocha branda - Madeira dura - Construção de terra	R < 1,5 m	0,32
	R ≥ 1,5 m	0,29
- Alvenaria em bom estado - Concreto comum - Rocha	R ≤ 0,3 m	0,88
	0,3 m < R < 0,9 m	0,48
	0,9 m ≤ R < 1,5 m	0,40
	1,5 m ≤ R < 2,1 m	0,32
	R ≥ 2,1 m	0,27
- Alvenaria de 1ª classe - Concreto ciclópico	R ≤ 0,3 m	1,14
	0,3 m < R < 0,9 m	0,62
	0,9 m ≤ R < 1,5 m	0,52
	1,5 m ≤ R < 2,1 m	0,41
	R ≥ 2,1 m	0,35
- Concreto armado (somente considera-se a ruptura do concreto; a armação metálica não será cortada)	R ≤ 0,3 m	1,76
	0,3 m < R < 0,9 m	0,96
	0,9 m ≤ R < 1,5 m	0,80
	1,5 m ≤ R < 2,1 m	0,63
	R ≥ 2,1 m	0,54

Tab 5-1. Valores de K (Coeficiente de material) para cargas de ruptura

(4) Coeficiente de Enchimento (E)

(a) O valor de E depende da localização e do enchimento da carga. A Fig 5-35 ilustra os diferentes posicionamentos das cargas e fornece os valores de E.

(b) **OBSERVAÇÃO** - na seleção de um valor de E, o enchimento de uma carga feito com material compacto como areia, água ou terra, só é considerado como existente se a carga estiver coberta por um enchimento, no mínimo, de espessura igual ao raio de ruptura (R).

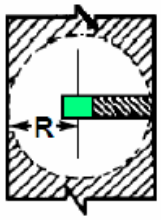
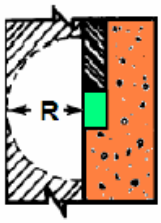
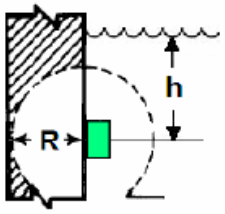
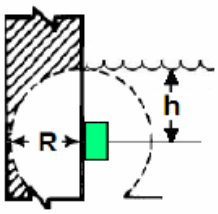
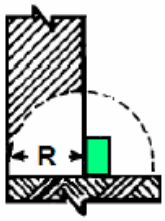
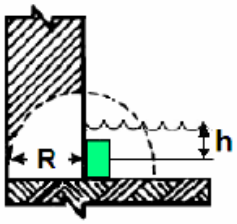
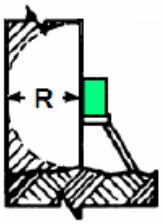
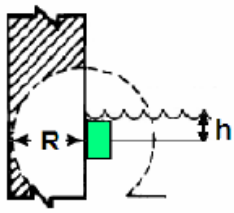
VALOR DE "E"	CARGAS NÃO SUBAQUÁTICAS		CARGAS SUBAQUÁTICAS
E = 1,0	Carga no centro da massa	Carga contra aterro	Água profunda h ≥ R
			
E = 2,0	Carga com enchimento	———	Água rasa R > h ≥ R/2
		———	
E = 3,5	Carga junto ao solo sem enchimento	———	Água rasa h< R/2 Junto ao fundo
		———	
E = 4,5	Carga elevada	———	Água rasa h< R/2
		———	

Fig 5-35. Valores de E (Coeficiente de enchimento) para cargas de ruptura

(5) Tabela

(a) A tabela do Anexo L fornece a quantidade de TNT, em quilos, das cargas de ruptura para o concreto armado, bastando para tal entrar com o raio de ruptura (R) da peça a ser destruída e com o coeficiente de enchimento (E) considerado.

(b) Se o material a ser destruído não for o concreto armado, utilizar os fatores de conversão constantes do mesmo Anexo. Na dúvida, usar o valor previsto para o material mais resistente.

(c) Se utilizar outro explosivo diferente do TNT, fazer a transformação da quantidade necessária, levando-se em conta o efeito relativo do mesmo (Anexo A).

(d) Problema ilustrativo - usando a tabela do Anexo L, calcular a quantidade de TNT necessária para romper uma parede de alvenaria comum de 2,0 m de espessura, com uma carga, com enchimento, colocada junto à parede e apoiada sobre o solo.

1) Uso da tabela:

- R = 2,0 m E = 2,0 - Tab → 161,300 kg TNT.

2) Uso do fator de conversão para a alvenaria comum:

- 161,300 x 0,5 = 80,650 kg TNT.

(6) Quantidade, colocação e configuração das cargas

(a) Quantidade de cargas

1) O número de cargas externas necessárias para destruir um pilar, laje ou muro é determinado pela fórmula:

$$N = L / 2R$$

Onde: N = número de cargas.

L = largura do pilar, laje ou muro, em metros.

R = raio de ruptura, em metros.

2) Observações:

a) Se o valor de N estiver compreendido entre 1 e 2, desprezar a fração menor do que 0,25. Para a fração igual ou maior do que este valor, aproximar o valor de N para 2.

b) Se o valor de N for um número maior do que 2, de fração menor que 0,5, ela é desprezada. Se for igual ou maior do que 0,5, o valor de N deve ser arredondado para o número inteiro superior mais próximo.

c) Para romper pontes de vigas de concreto, considerar as vigas de forma individual.

(b) Colocação das cargas (Fig 5-36)

1) Normalmente as cargas são colocadas apenas de um lado da peça a ser destruída.

2) As cargas colocadas acima do nível do solo são mais eficientes do que as colocadas diretamente sobre o solo.

3) As cargas elevadas devem ser colocadas a um altura, no mínimo, igual ao raio de ruptura (espessura da peça a ser rompida).

4) Colocar as cargas em locais em que o lado oposto esteja livre.

5) Quando utilizar várias cargas para destruir um pilar, laje ou parede, elas devem ser distribuídas igualmente ao longo da superfície a ser destruída.

6) As cargas externas devem ser colocadas a uma distância igual ao raio de ruptura (R) das extremidades da peça a ser destruída. A distância entre as cargas deve ser, no máximo, igual a 2R (Fig 5-36).

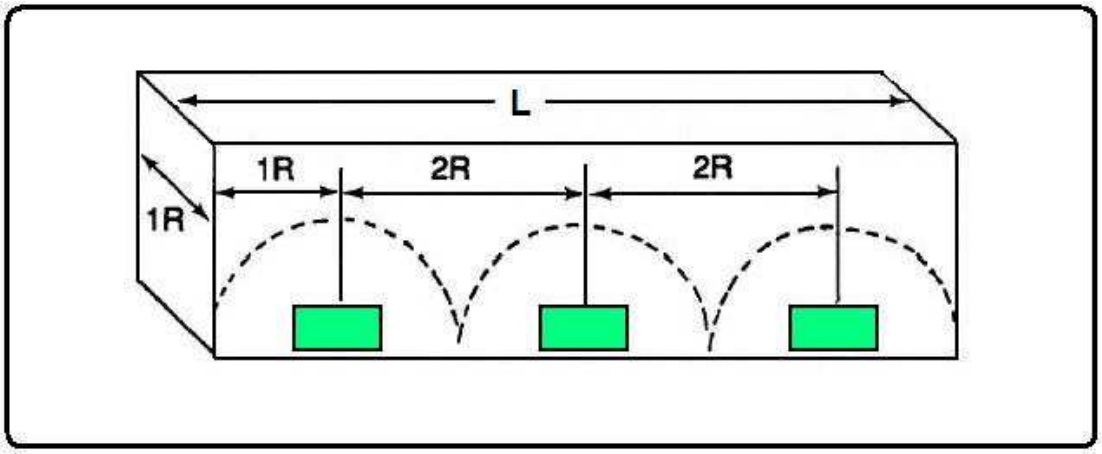


Fig 5-36 – Colocação de cargas múltiplas

(c) Enchimento

1) Sempre que possível, colocar um enchimento de espessura aproximadamente igual ao valor do raio de ruptura.

2) A água é considerada um bom enchimento, se tiver uma profundidade igual ou maior do que a metade do raio de ruptura.

3) Em água rasa, se possível, colocar um enchimento constituído por sacos de areia, cascalho ou terra.

(d) Configuração das cargas

Para melhor efeito destrutivo, as cargas de ruptura devem possuir uma forma parecida com um paralelepípedo. A largura da carga deve ser aproximadamente três vezes maior que sua espessura. A espessura da carga depende da quantidade de carga requerida para a destruição (Tab 5-2).

QUANTIDADE DE EXPLOSIVO	ESPESSURA DA CARGA *
Menor que 2,5 kg	2,5 cm
2,5 kg a 20 kg	5 cm
20 kg a 140 kg	10 cm
Maior que 140 kg	20 cm
* Valores aproximados	

Tab 5-2. Espessura da carga de ruptura

(7) Efeitos da explosão

(a) As cargas de ruptura de alto explosivo, detonadas em contato com o concreto, alvenaria ou rocha, produzem uma onda de choque tão forte que o material é quebrado ou despedaçado.

(b) As armaduras (vergalhões) do concreto não são cortadas por essas cargas.

(c) O dano proveniente da explosão da carga é maior na face oposta àquela em que foi colocada a carga.

(8) Cargas opostas (Fig 5-37)

(a) Emprego das cargas opostas

1) Esta técnica é indicada para pequenos pilares, retangulares, de concreto ou de alvenaria, de espessura e largura menores do que 1,0 m, que tenham, pelo menos, três faces livres.

2) Sua eficácia é resultado da detonação simultânea de duas cargas colocadas uma oposta à outra e tão próximas do centro da peça a ser destruída quanto possível.

(b) Cálculo da carga

1) Utilizar 25 g de TNT para cada cm de espessura da peça a ser destruída.

2) Por exemplo, uma coluna de concreto de 1,0 m de espessura necessita de 2,5 kg de TNT (25 g x 100 cm = 2500 g).

(c) Preparação e colocação das cargas

1) Dividir o explosivo calculado em duas cargas iguais;

2) Colocar as cargas, fixando-as firmemente, uma oposta à outra (Fig 5-37);

3) As dimensões das cargas devem estar de acordo com o previsto na Tab 5-2; e

4) As cargas devem ser acionadas simultaneamente.

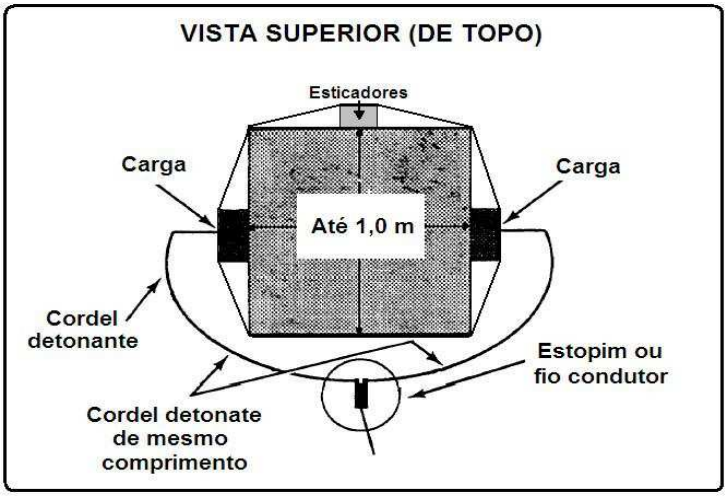


Fig 5-37. Cargas opostas

(9) Problemas ilustrativos

(a) Carga de ruptura unitária

1) Determinar a quantidade de TNT necessária para destruir o pilar da ponte de concreto armado mostrado na Fig 5-38.

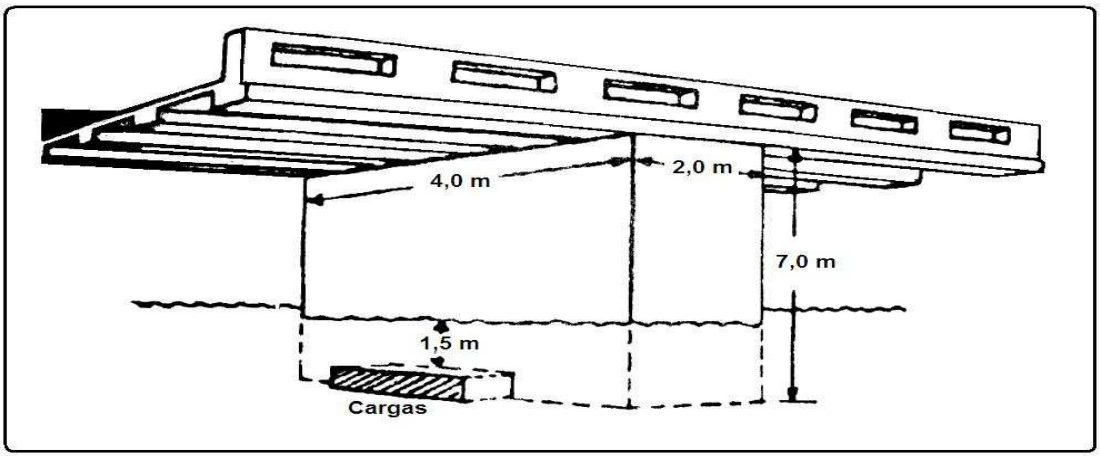


Fig 5-38. Dimensionamento da ponte

2) **Cálculos**

a) Fórmulas: $C = 16\ R^3\ K\ E$ e $N = L / 2R$.

b) Dados: R = 2,0 m (Fig 5-39)

K = 0,63 (Tab 5-1)

E = 2,0 (Fig 5-35)

c) Cálculos: $C = 16 \times 2^3 \times 0,63 \times 2,0$ ... C =161,28 kg TNT.

d) Nr de cargas: N = L / 2R ... N = 4 / (2 x 2) ... N = 1 carga.

e) Espessura aproximada da carga = 20 cm (Tab 5-2).

f) Largura aproximada da carga = 3 x espessura da carga = 60 cm.

3) **Solução**: É necessária uma carga de 161,28 kg de TNT.

(b) Carga de ruptura múltipla

1) Determinar o valor e a quantidade de cargas de TNT necessárias para romper o pilar de alvenaria de 1ª classe mostrado na Fig 5-39.

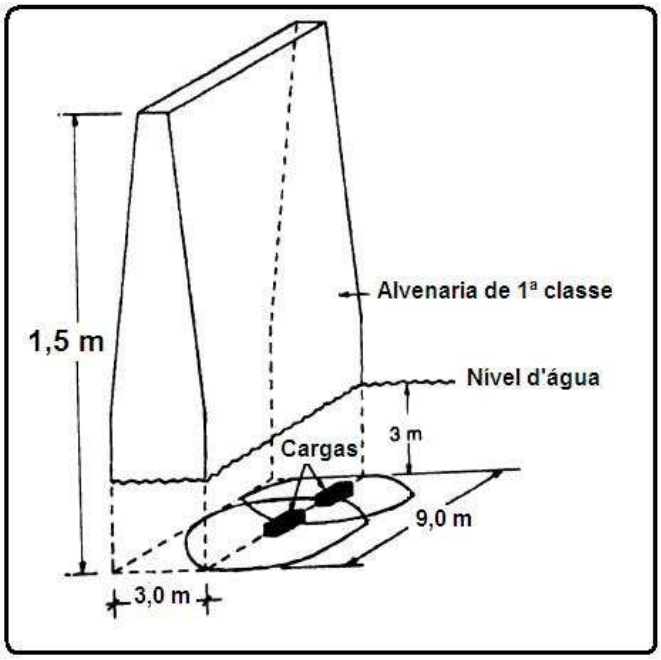


Fig 5-39. Dimensionamento da ponte

2) Cálculos

a) Fórmulas: $C = 16\ R^3\ K\ E$ e $N = L / 2R$.

b) Dados: R = 3,0 m (Fig 5-39)

K = 0,35 (Tab 5-1)

E = 1,0 (Fig 5-35)

c) Cálculos: $C = 16 \times 3^3 \times 0,35 \times 1,0$ ... C =151,2 kg TNT.

d) Nr de cargas: N = L / 2R … N = 9 / (3 x 2) ... N=1,5 … N=2 cargas

e) Espessura aproximada da carga = 20 cm (Tab 5-2)

f) Largura aproximada da carga = 3 x espessura da carga = 60 cm

3) **Solução**: São necessárias 2 cargas de 151,2 kg de TNT cada uma.

7. CARGAS SUBTERRÂNEAS

a. Generalidades

As cargas subterrâneas são utilizadas, principalmente, para a abertura de fornilhos ou câmaras que propiciarão a explosão de cargas maiores no seu interior, na abertura de crateras ou na criação de rampas junto a encostas ou margens íngremes dos cursos de água.

b. Criação da câmara

(1) O furo inicial geralmente tem sua seção insuficiente para receber a quantidade de explosivo prevista. Em consequência, torna-se necessário criar uma câmara de volume "V" superior ao volume da carga a ser utilizada, tendo-se ainda em conta que, normalmente, só é possível completar a câmara em 2/3 do seu volume (tacha cônica que impede o preenchimento superior da esfera).

(2) O valor de "V" é determinado pela fórmula:

$$V = 2C/1000 \text{ ou } V = 0{,}002C$$

Onde: C = carga, em quilos.

V = volume, em m^3.

(3) Criação de câmara em meio compressível

(a) A câmara em um material compressível pode ser criada pela explosão de cargas sucessivas, onde uma primeira carga explosiva (C) cria uma câmara de volume $V_1 = KC_1$, onde C é expresso em quilos, e K é um coeficiente cujo valor depende do material e do explosivo, conforme explícito na tabela da Pag M-2 do Anexo M.

(b) Esta operação deve ser repetida até ser obtido o volume necessário à colocação da carga principal ($Vn \geq V$).

(c) Deve-se verificar se cada carga é inferior à carga necessária à criação de um "fornilho camuflado", ou seja:

$$Cn < 0{,}2\ GH^3$$

Onde: G = coeficiente do terreno (An M, Pag M-2).
H = linha de menor resistência, em metros.

(d) Problema ilustrativo

1) Realizar em um terreno de rocha porosa (K=1/10 e G=1,4) um fornilho para 500 kg de TNT, a uma profundidade de 5 m, pela formação de câmaras sucessivas na extremidade de um furo que permita a introdução inicial de um petardo de 250 g de TNT.

2) Solução:

a) O volume necessário para instalação da carga necessária ao fornilho (500 kg) é:

$V = 2\ C/1000$ ... $V = 2 \times 500/1000 = 1\ m^3$.

b) As diferentes cargas devem ser inferiores a:

$Cn < 0{,}2GH^3$ ... $Cn < 0{,}2 \times 1{,}4 \times 5^3$ ... $Cn < 35$ kg.

c) A explosão do petardo de 250g cria uma primeira câmara de volume:

$V_1 = KC_1$ ... $V_1 = 1/10 \times 0{,}250 = 0{,}025\ m^3$.

d) Nesta primeira câmara, colocamos uma segunda carga:

$C_2 = 1000/2 \times V_1$ ... $C_2 = 500 \times 0{,}025$ ... $C_2 = 12{,}5$ kg.

e) Cuja explosão formará uma câmara de:

$V_2 = KC_2$ •.• $V_2 = 1/10 \times 12{,}5 = 1{,}25\ m^3$.

f) Como o volume necessário para a carga de 500 kg é de 1 m³, não é mais necessário criar uma nova câmara.

c. Cargas de fornilho (Fig 5-40)

(1) Cargas de fornilhos são cargas preparadas, utilizadas para abrir crateras de diferentes aspectos, quando se deseja efeitos predeterminados, para cada tipo de solo.

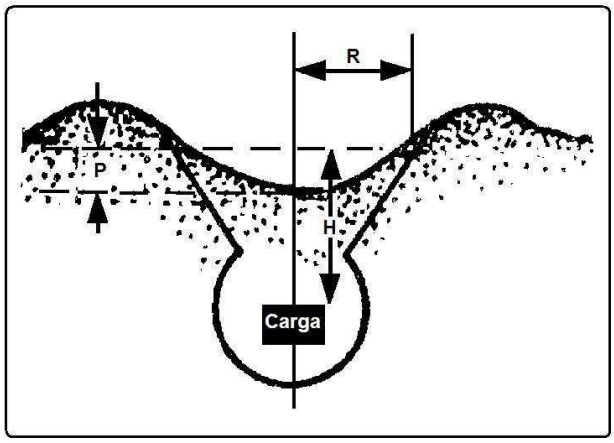


Fig 5-40. Perfil transversal de um fornilho

(2) Na criação de um fornilho devem ser considerados:

(a) H: linha de menor resistência aos efeitos da carga;

(b) R: raio da cratera que se deseja obter;

(c) P: profundidade da cratera que se deseja obter;

(d) G: coeficiente do material ou do terreno; e

(e) N: índice do fornilho, que é igual ao quociente do raio da cratera pela linha de menor resistência (N = R/H).

(3) Tipos de fornilhos (Fig 5-41)

(a) Em um determinado terreno, para uma mesma carga explosiva, colocada a diferentes profundidades, produz-se, após a explosão da carga, fornilhos de diferentes dimensões, cujo raio (R) varia de acordo com a profundidade (H) em que foi colocada a carga.

(b) Assim, podemos identificar os seguintes tipos de fornilhos:

1) comum ou normal, quando H=R ou N=1;
2) sobrecarregado, quando... H<R ou N>1;
3) subcarregado, quando ... H>R ou N<1; e
4) camuflado, quando... R=0 ou N=0.

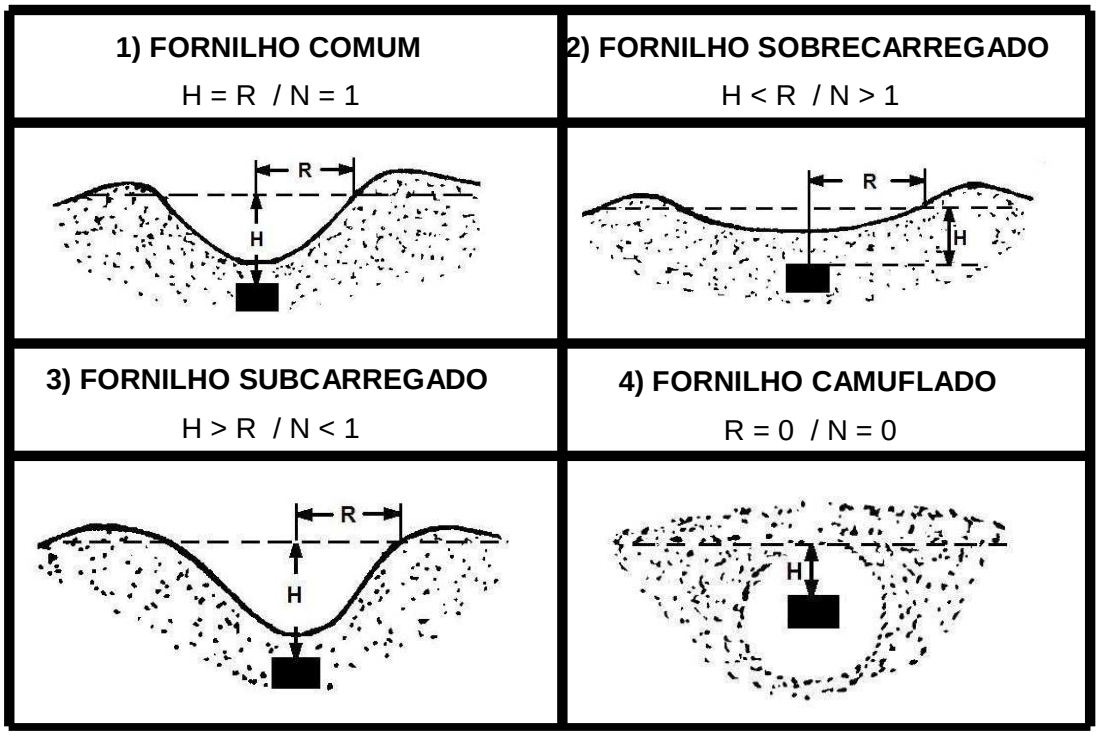


Fig 5-41. Tipos de fornilhos

(4) Cálculo da profundidade do fornilho (P) - a experiência permite estabelecer as seguintes relações concernentes à profundidade de P do fornilho:

(a) Explosivo brisante (grande velocidade de detonação):

$P_B = R/2$ ou $P_B = NH/2$,onde $N<3$.

(b) Explosivo lento (baixa velocidade de detonação):

$P_L = H(2N-1)/3$, onde $1/2<N<3$.

(5) Cálculo da quantidade de explosivo (C) - consultar o quadro constante do Anexo M.

(6) Problemas ilustrativos

(a) Determinar a carga de TNT necessária para a construção de um fornilho normal, de 4 m de profundidade, em um terreno de terra misturada com pedras.

Solução:

1) fórmula: $C = GH^3$.

2) Dados do problema: G =1,25 (An M Pag M-2) ... H = 4 m.

3) $C = 1{,}25 \times 4^3$ ... C = 80 kg de TNT.

(b) Determinar a carga de nitrato de amônio que, colocada a uma profundidade de 3 m, em um terreno de calcário duro, formará um fornilho de 6 m de raio.

Solução:

1) índice do fornilho: N = R/H ... N = 6/3 ... N = 2 (Fornilho sobrecarregado)

2) fórmula: $C = GH^3 S$

3) Dados do problema: g = 2,40 ... H = 3 m .,. S = 6,05 (An M Pag M-2)

4) $C = 2{,}40 \times 3^3 \times 6{,}05$ … C = 392 kg de Nitrato de Amônio

8. CARGAS PARA ABERTURA DE CRATERAS E FOSSOS AC

a. Generalidades

(1) Para se constituírem obstáculos eficientes, as crateras em estradas devem ser bastante largas para que as viaturas lançadoras de pontes de pequenas brechas não possam transpor-las, bastante profundas e de taludes abruptos para impedir a passagem de qualquer viatura.

(2) As crateras podem ser consideradas como um obstáculo eficiente se os CC necessitarem de 3 ou mais movimentos para atravessá-las, pois isso dará tempo às armas AC para colocarem o CC definitivamente fora de combate.

(3) As crateras devem ser apoiadas lateralmente por outros obstáculos que dificultem o seu desbordamento. Armadilhas e Minas AC colocadas no seu interior e proximidades aumentam a sua eficiência e dificultam a sua reparação.

(4) Em princípio, o lado da cratera voltado para o lado amigo deve ser o mais vertical possível e o lado de entrada, voltado para o inimigo, deve ter um ângulo aproximado de 45 graus.

(5) Ao calcular o número de furos para a colocação das cargas explosivas, se este for fracionário, arredondá-lo para o próximo número superior.

(6) Todos os explosivos militares podem ser utilizados na abertura de crateras, sendo o nitrato de amônio o mais indicado.

(7) Sempre que possível, colocar enchimento sobre as cargas.

(8) Sempre que possível, faça as crateras através de um corte em um ângulo de 45 graus no sentido da aproximação (Fig 5-43). Este ângulo de corte aumentará a tendência do tanque em deslizar lateralmente e se dirigir para fora da estrada.

b. Rompimento da pavimentação

(1) Para facilitar a abertura dos orifícios onde serão colocadas as cargas para abrir as crateras, a pavimentação das estradas e campos de pouso pode ser rompida pela explosão de uma carga com a seguinte especificação:

$$C = 100e \quad ; \quad E \geq 2e$$

Onde: C = quantidade de TNT, em gramas.

E = altura do enchimento, em centímetros.

e = espessura da pavimentação, em centímetros.

(2) A pavimentação também pode ser rompida com o auxílio de ferramentas especiais ou cargas dirigidas perfurantes. Uma carga dirigida abrirá prontamente uma perfuração de pequeno diâmetro através do pavimento e no subleito. Utilizando as cargas dirigidas, pode-se acelerar a tarefa de perfuração, eliminando a necessidade de romper o pavimento com mais cargas explosivas, já iniciando a escavação do furo para a colocação da carga para abertura da cratera.

(3) Às vezes torna-se necessário remover alguma terra ou alargar áreas estreitas para colocação da carga. Alargue perfurações profundas e estreitas utilizando uma alavanca reta ou uma haste ou rompendo o concreto quebrado na superfície com uma picareta ou um pé-de-cabra.

(4) Evitar quebrar o concreto nas juntas de dilatação, pois ele tenderá a se fragmentar somente em um dos lados da junta.

c. Processos para abertura de cratera em estradas

As crateras serão classificadas em:

- Normal;

- Rápida; e

- Alcantilada.

(1) Cratera normal (Fig 5-42 e 5-43)

(a) Número de furos:

$$\mathbf{NF} = \frac{L - 5}{1{,}5} + 1$$

Onde: NF = número de furos.

L = largura total da estrada, em metros, considerando talude e acostamento (largura de destruição).

5 = considera-se uma margem de 2,5 m de cada lado.

1,5 = espaçamento entre os furos.

1 = fator para converter espaço em furos.

(b) Número de espaçamentos entre os furos: NE = NF - 1.

(c) Distância entre os furos: 1,5 m.

(d) Profundidade dos furos: alternadamente, 2,1 m e 1,5 m.

(e) Furos externos: sempre de 2,1 m.

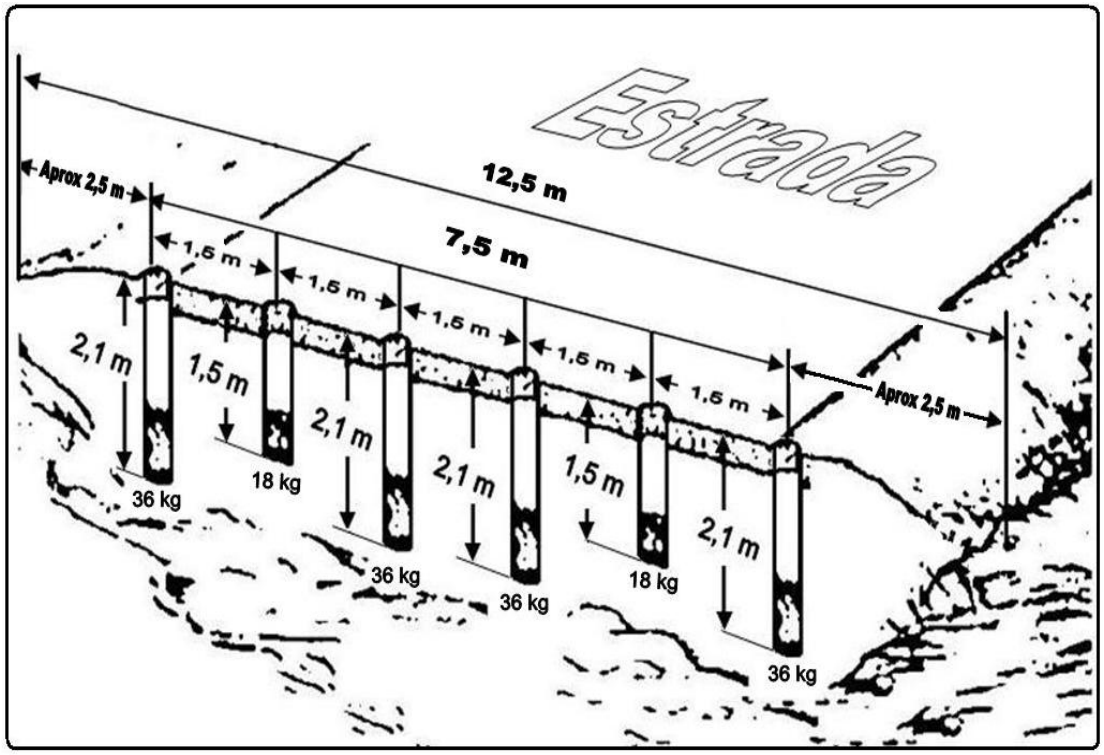


Fig 5-42. Colocação de cargas para cratera normal no sentido perpendicular

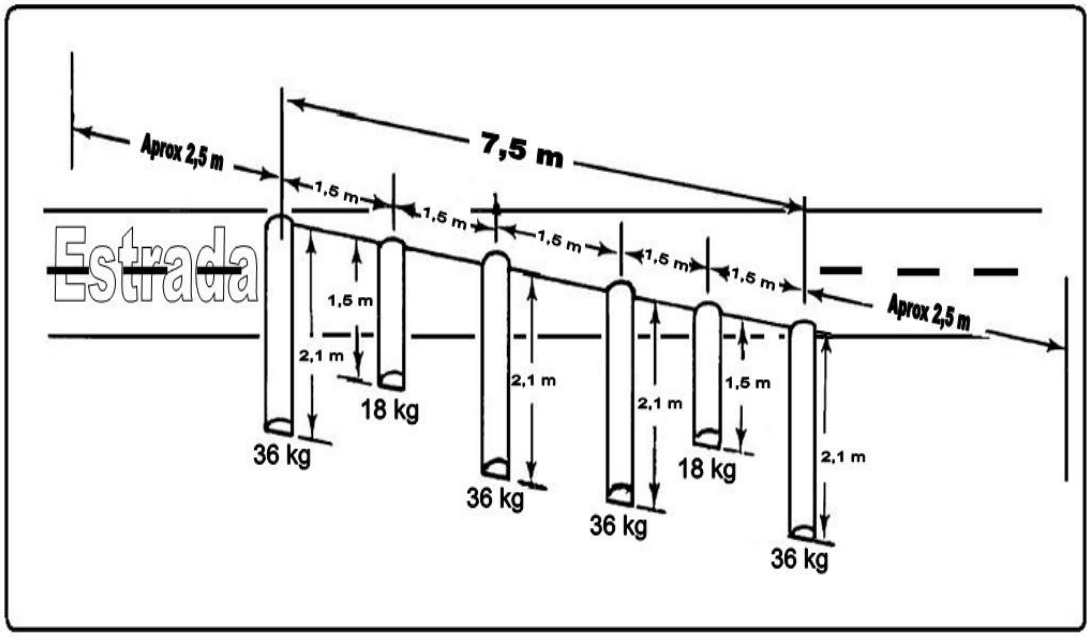


Fig 5-43. Colocação de cargas para cratera normal em 45 graus

(f) Não devem estar lado a lado dois furos de 1,5 m. Neste caso particular (N par), os dois furos de 2,1 m adjacentes devem ficar o mais próximo possível do centro da linha de orifícios (Fig 5-44).

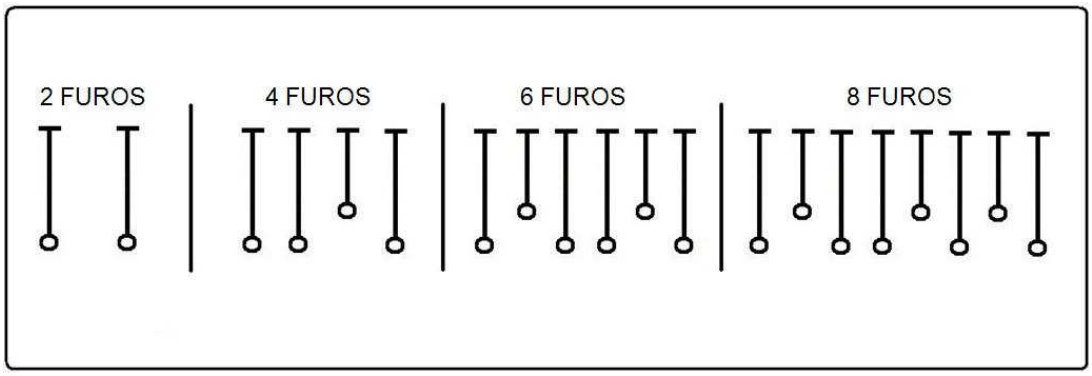


Fig 5-44. Exemplos de posicionamento dos furos

(g) Explosivos:

1) Nitrato de amônio:

a) Furos de 2,1 m: 36 kg; e

b) Furos de 1,5 m: 18 kg.

2) TNT:

a) Furos de 2,1 m: 18 kg; e

b) Furos de 1,5 m: 10 kg.

(h) Escorvamento - escorvar todas as cargas e ligá-las para fogo simultâneo. Usar sempre que possível o sistema duplo de lançamento de fogo. O escorvamento das cargas de nitrato de amônio em grãos deverá ser de acordo com o mostrado no parágrafo 4-5.

(i) Tapar todos os orifícios com enchimento, cuidando para que não corte ou faça dobras no cordel detonante.

(j) Detonar as cargas simultaneamente.

(l) Efeito

1) Produz uma cratera em forma de "V", com as seguintes dimensões:

a) Comprimento: 7,5 a 9,0 m;

b) Profundidade: 2,0 a 2,5 m;

c) Largura: distância entre os furos extremos mais 5,0 m (2,5 m para cada lado); e

d) Rampas: 30 a 35 graus.

2) Os CC mais modernos necessitam de cerca de 8 movimentos para conseguir transpô-la.

(2) Cratera rápida (Fig 5-45 e 5-46)

(a) Número de furos:

$$NF = \frac{L - 5}{1,5} + 1$$

Onde: NF = número de furos .

L = largura total da estrada, em metros, considerando talude e acostamento (largura de destruição).

5 = considera-se uma margem de 2,5 m de cada lado.

1,5 = espaçamento entre os furos.

1 = fator para converter espaço em furos.

(b) Número de espaçamentos entre os furos: NE = NF - 1.

(c) Distância entre os furos: 1,5 m.

(d) Profundidade dos furos: todas iguais (profundidade mínima de 1,5m).

(e) A construção deste tipo de cratera é mais econômica do que a cratera normal, em tempo e explosivo. No entanto, é menos eficiente devido à sua forma e profundidade. Normalmente é utilizada quando há necessidade de economia de tempo ou de explosivo em solos duros e só há disponibilidade de ferramentas manuais.

(f) Colocar uma lata de nitrato de amônio (18 kg) em cada buraco, suplementando cada carga com uma quantidade adicional de explosivo (pode ser pólvora negra ou TNT), até obter uma taxa de 15 kg de explosivo por metro de profundidade do orifício. Admite-se colocar outros tipos de explosivos nos furos, porém deve seguir a mesma taxa de carregamento: 15 kg por metro de profundidade.

(g) Escorvar as cargas como foi descrito para a cratera normal e tapar todos os orifícios com enchimento, cuidando para que não corte ou faça dobras no cordel detonante. Detonar as cargas simultaneamente.

(h) Efeito

1) Produz uma cratera em forma de "V", com as seguintes dimensões:

a) Comprimento: 5 x P (P = Profundidade dos furos);
b) Profundidade: 1,25 P (P = Profundidade dos furos);

c) Largura: distância entre os furos extremos mais 5,0 m (2,5 m para cada lado); e
d) Rampas: 25 a 35 graus.

2) Os CC mais modernos necessitam de cerca de 4 movimentos para conseguir transpor-la.

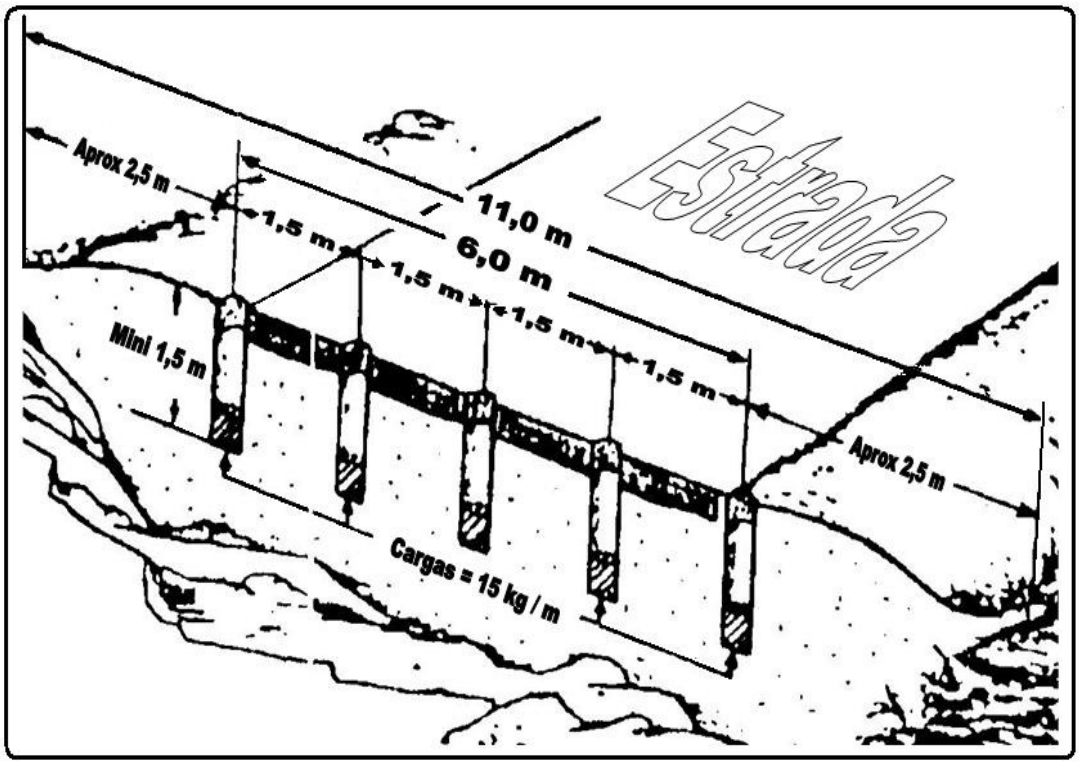


Fig 5-45. Colocação de cargas para cratera rápida no sentido perpendicular

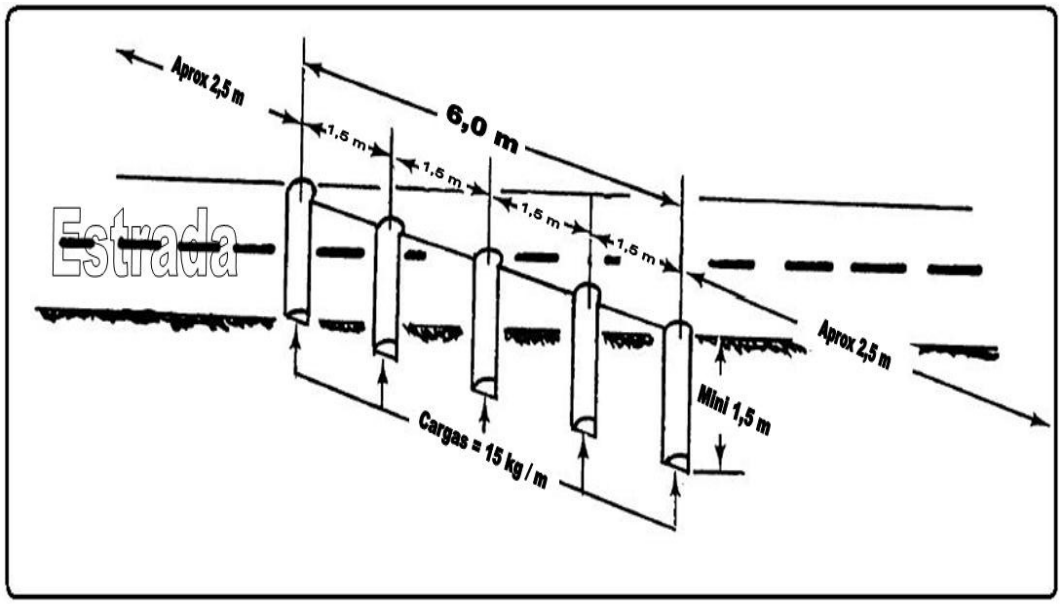


Fig 5-46. Colocação de cargas para cratera rápida em 45 graus

(3) Cratera alcantilada (Fig 5-47)

(a) Esta cratera é um obstáculo mais eficiente contra os carros de combate do que as apresentadas anteriormente.

(b) Número de furos

$$\text{Lado amigo} = \frac{L - 3}{2} + 1$$

$$\text{Lado inimigo} = NF_A - 1$$

Onde: NF = número de furos.

L = largura total da estrada, em metros, considerando talude e acostamento (largura de destruição).

3 = considera-se uma margem de 1,5 m de cada lado.

2 = espaçamento entre os furos.

1 = fator para converter espaço em furos.

(c) Número de espaçamentos entre os furos:

1) Lado amigo: $NE_A = NF_A - 1$; e

2) Lado inimigo: $NE_I = NF_i - 1$.

(d) Distância entre os furos: 2 m.

(e) Profundidade dos furos:
1) Lado amigo: 1,5 m; e
2) Lado inimigo: 1,2 m.

(f) Distância entre as linhas de furos (amiga e inimiga): 2,5 m.

(g) Posicionar os orifícios da fileira do lado inimigo, intercalados em relação aos orifícios da fileira do lado amigo, como mostra a Fig 5-47. Essa fileira contém um orifício a menos do que os do lado amigo.

(h) Explosivos:

1) Furos lado amigo (1,5 m): 18 kg (TNT, pólvora negra ou nitrato de amônio); e

2) Furos lado inimigo (1,2 m): 14 kg (TNT, pólvora negra ou nitrato de amônio).

(i) Escorvar as cargas de cada fileira separadamente para detonarem quase simultaneamente. O ideal é ter um intervalo de detonação de 1/2 segundo ou 1 1/2 segundos entre as fileiras (pode-se usar espoletas com retardo de tempo); ou

detonar a do lado inimigo primeiro, e a do lado amigo enquanto a terra da fileira do lado inimigo ainda estiver no ar.

(j) Se não for possível conseguir a defasagem de tempo nas detonações, um resultado também aceitável será obtido pela detonação simultânea de todas as cargas. Entretanto, não resultará em uma cratera alcantilada.

(l) Efeito

1) Produz uma cratera em forma trapezoidal, com as seguintes dimensões:

a) Comprimento: 7,5 a 9 m;

b) Profundidade: 2 a 2,5 m;

c) Largura: distância entre os furos extremos mais 5,0 m (2,5 m para cada lado); e

d) Rampas: lado amigo, 30 a 40 graus; lado inimigo, 25 graus.

(m) Prevenção de falhas - para prevenir possíveis falhas provenientes do choque e sopro da primeira detonação, proteger o cordel detonante e as ramificações da segunda linha de cargas, cobrindo-as com aproximadamente 20 cm (1 palmo) de terra.

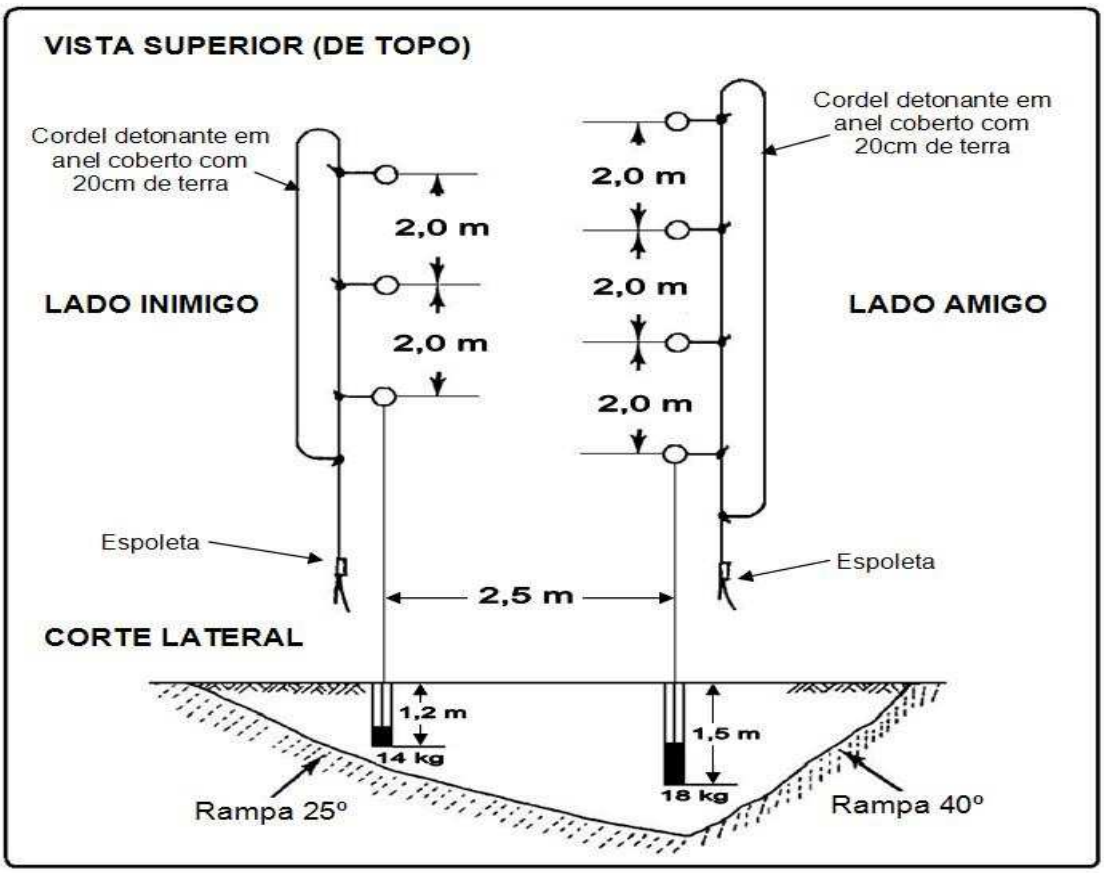


Fig 5-47. Colocação de cargas para cratera alcantilada

d. Abertura de crateras em bueiros

(1) Generalidades

(a) A abertura de cratera simultaneamente com a destruição de bueiro de concreto é função da altura H do aterro acima do seu capeamento. O emprego de explosivos é aconselhado somente quando H for menor ou igual a 4,5 m. Aterros com mais de 4,5 m requerem um volume excessivo de explosivo e de trabalho.

(b) As cargas são ligadas para acionamento simultâneo.

(2) Processo utilizado para H ≤ 1,5 m (Fig 5-48)

(a) Descrição do processo

1) Semelhante ao processo rápido de abertura de crateras.

2) Locar o furo central no eixo da estrada e os furos laterais distanciados de 1,50 m até o ponto em que o aterro não ofereça mais condições de enchimento (mínimo de 75 cm).

(b) Explosivo

1) Rompimento da pavimentação: 500g de TNT por cada 5 cm de espessura; e

2) Para os furos: 15 kg por metro de profundidade.

(c) Enchimento - mínimo de 75 cm.

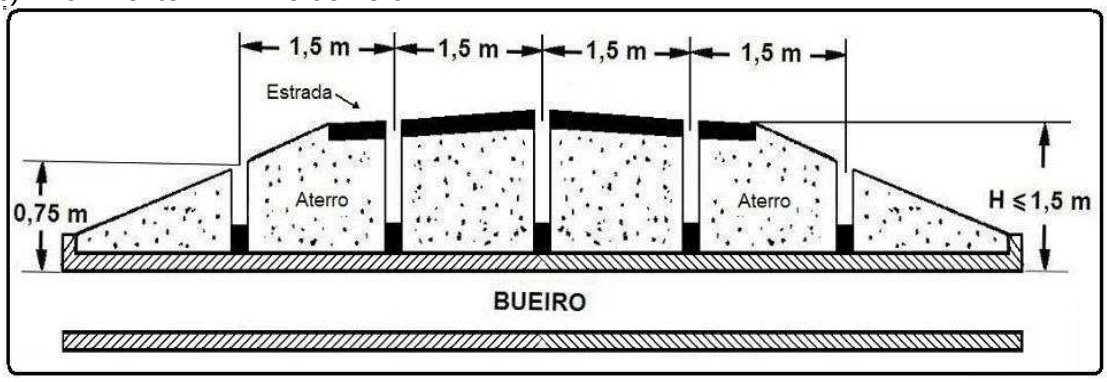


Fig 5-48. Perfil de bueiro com aterro menor ou igual a 1,50 m

(3) Processo utilizado para: 1,5 m < H ≤ 4,5 m (Fig 5-49)

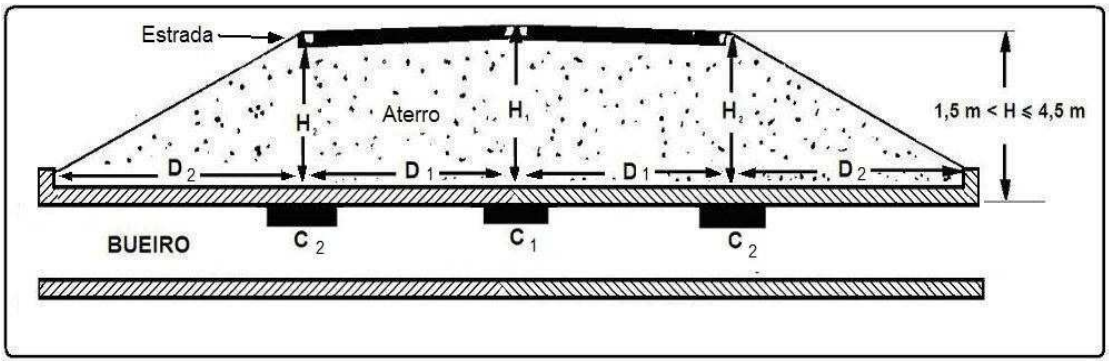


Fig 5-49. Perfil de bueiro com aterro de 1,5 m a 4,5 m

(a) Descrição do Processo

1) Esses bueiros são destruídos por cargas colocadas em seu interior de encontro ao teto;

2) Medir H_1, em metros;

3) Medir, lateralmente, a distância $D_1 = 4/5\ H_1$;

4) Medir H_2, em metros;

5) Medir, lateralmente, a distância $D_2 = 4/5\ H_2$; e

6) A partir da local em que a altura H do aterro for menor ou igual a 1,50 m, espaçar as cargas de 1,50 m, como no caso anterior.

(b) Explosivo

1) $C_1 = 10\ (H_1)^2$ ... C em kg;

2) $C_2 = 10\ (H_2)^2$ ... C em kg; e

3) Onde $H \leq 1{,}50$ m, usar 15 kg/m .

(c) Enchimento - preencher todo o bueiro com sacos de areia.

(d) Exemplo ilustrativo - determinar a quantidade de explosivo necessária para destruir o bueiro representado na Fig 5-50.

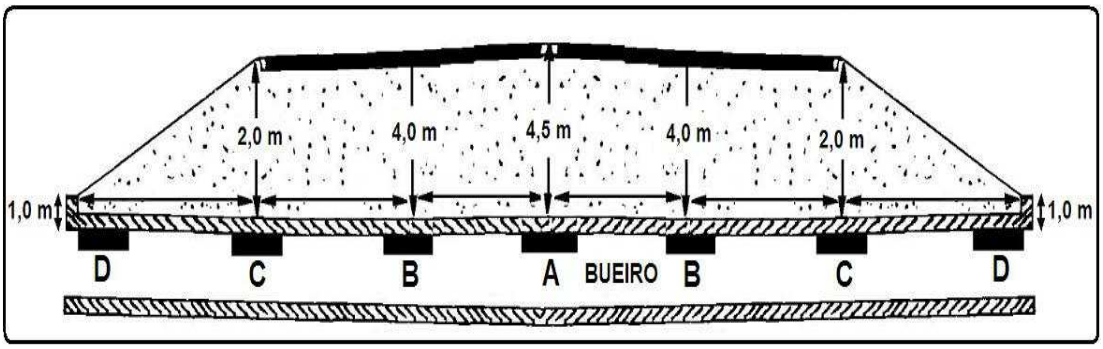


Fig 5-50. Perfil de bueiro

1) Fórmulas

$D = 4/5\ H$ e $C = 10\ (H)^2$

2) Solução

- Carga A: $C_A = 10\ X\ (4{,}5)^2 = 10 \times 20{,}25 = 202{,}5$ kg.
- Distância AS = $4/5 \times 4{,}5 = 3{,}60$ m.
- Carga B: $C_B = 10\ X\ (4)^2 = 10 \times 16 = 160$ kg (2 cargas: 320 kg).
- Distância BC : $4/5 \times 4 = 3{,}20$ m.
- Carga C: $C_c = 10x(2)^2 = 10x4 = 40$ kg (2 cargas: 80 kg).
- Distância CD : $4/5 \times 2 = 1{,}60$ m.
- Carga D: $C_D = 15$ kg/m $= 15 \times 1 = 15$ kg (2 cargas: 30 kg).
- $C_{total} = 202{,}5$ kg + 320 kg + 80 kg + 30 kg = 632,5 kg.

e. Abertura de fosso AC com explosivos

(1) Os fossos AC, de qualquer comprimento, são abertos utilizando o mesmo processo de abertura de crateras, seja normal ou rápida.

(2) Os fossos AC devem ser melhorados com o auxílio de ferramentas manuais ou equipamento mecânico, para fazer o talude do fosso, do lado amigo,

aproximadamente na vertical.

f. Localização das crateras e fossos AC

(1) As crateras e fossos AC, em bifurcações e cruzamentos, são colocados em princípio, como indicado na Fig 5-51.

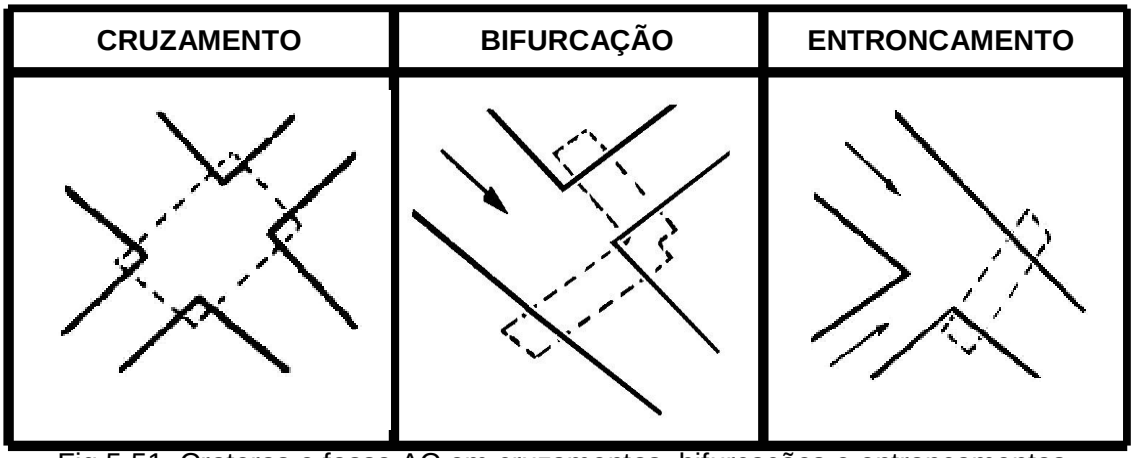


Fig 5-51. Crateras e fosso AC em cruzamentos, bifurcações e entroncamentos

g. Crateras em campo de pouso

(1) Emprego

Obstrução das pistas de aterrissagem e rolamento, e das vias de acesso ao campo.

(2) Processos

(a) Normal.

(b) Especial.

(c) Eventual.

(3) Processo Normal

(a) Verificar o comprimento mínimo de pista necessário à decolagem/ aterrissagem do tipo de avião considerado (Anexo N - CARACTERÍSTICAS DE CAMPOS DE POUSO).

(b) Em função do comprimento mínimo de pista necessário, cortá-Ia com uma, duas ou tantas linhas de crateras quantas forem necessárias. (O número mínimo de linhas de crateras será igual ao comprimento da pista dividido pelo comprimento mínimo de pista necessário para a decolagem/ aterrissagem do tipo de avião considerado).

(4) Processo Especial (Fig 5-52)

(a) Verificar o comprimento mínimo de pista necessário à decolagem/ aterrissagem do tipo de avião considerado (Anexo N).

(b) Calcular o número de interrupções.

(c) Furos

1) Quantidade: N = (L- 4,5) /4,5; sendo L = largura da pista;

2) Distância entre furos: 4,50 m; e

3) Profundidade dos furos: 1,20 m.

(d) Explosivo

1) Quantidade: 18 kg de nitrato de amônio por furo; e

2) Rompimento da pavimentação: 500 g de TNT por cada 5 cm de espessura.

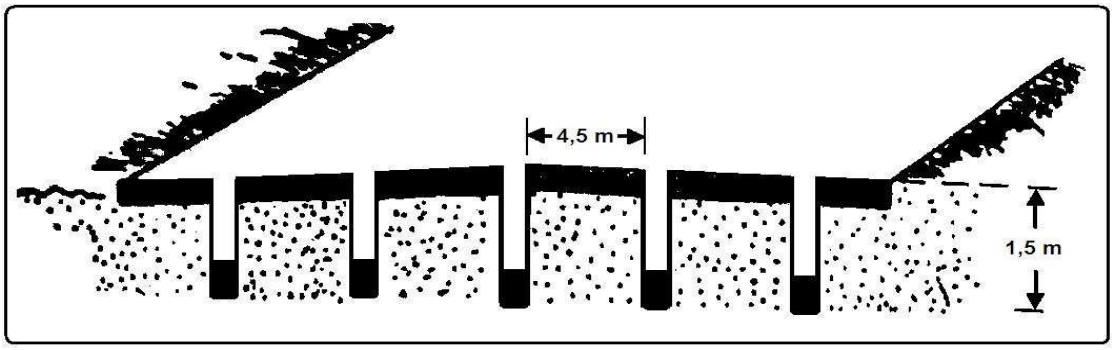


Fig 5-52. Processo Especial para destruição de pista de pouso

(5) Processo Eventual (Fig 5-53)

(a) É utilizado para a destruição completa da pista, quando se dispõe de tempo e explosivo.

(b) Condição - o comprimento Cp deve ser menor do que o comprimento mínimo de pista necessário (Anexo Q).

(c) Demais procedimentos, semelhantes ao "Processo Especial".

(d) O valor de L na fórmula da quantidade de furos é igual ao comprimento da "linha de furos" considerada.

Fig 5-53. Processo eventual para destruição de pista de pouso

9. CARGAS PARA ABERTURA DE RAMPAS (Fig 5-54)

a. Generalidades

(1) As cargas explosivas podem ser utilizadas para a abertura de rampas em taludes verticais ou margens abruptas de até 5 m de altura.

(2) Para a abertura dessas rampas, o processo utilizado é mostrado na Fig 5-54, considerando sempre três linhas de furos.

b. Dimensionamento e cálculo da carga

(1) Em cada furo, colocar 12 kg de TNT por metro de profundidade.

(2) A profundidade mínima para o último furo da linha central é de 75 cm.

(3) A profundidade de todos os furos das linhas laterais é de 30 cm. Cada um deverá ser carregado com 3,5 kg de TNT.

(4) As rampas deverão ser melhoradas com ferramentas manuais.

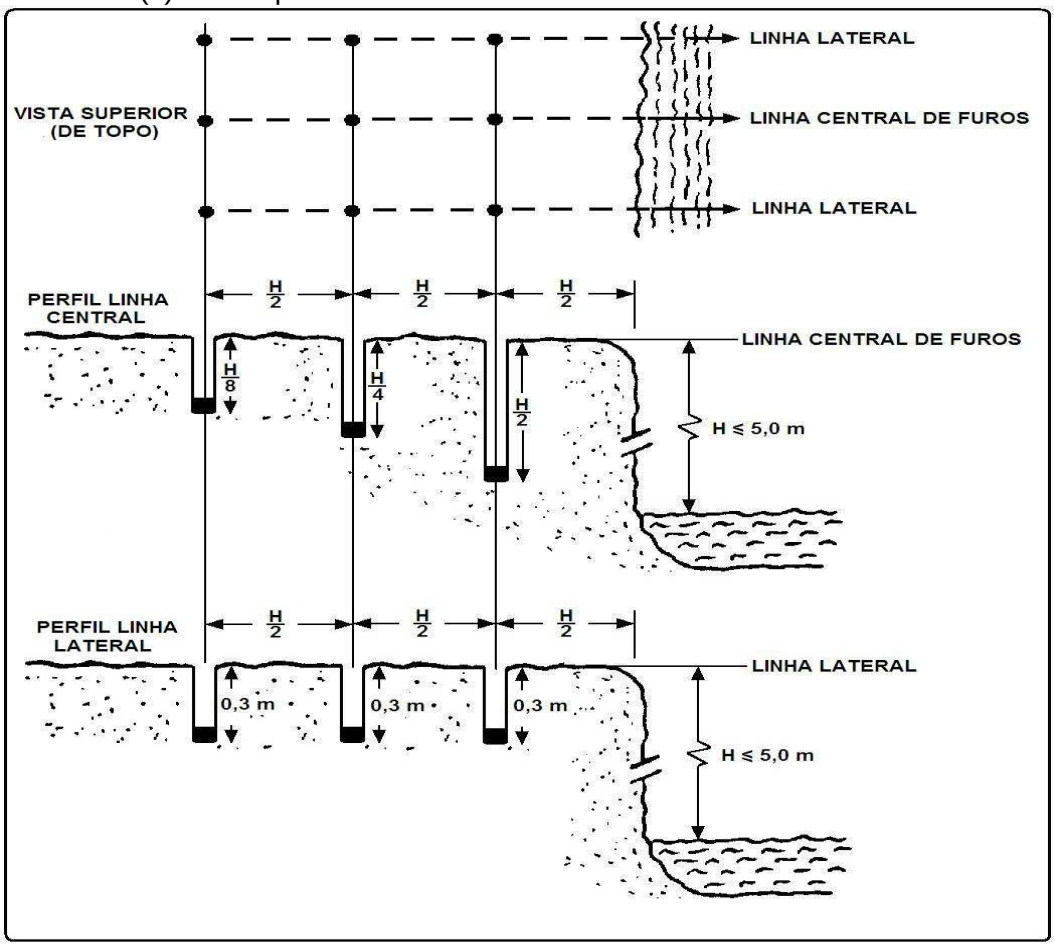


Fig 5-54. Posicionamento dos furos para construção de rampas

10. CARGAS PARA ABERTURA DE VALETAS

a. Generalidades

(1) Pode-se criar valetas de escoamento de água rapidamente utilizando explosivos. O grau de inclinação da valeta deve ter uma inclinação de 1 a 3 metros de profundidade para cada 50 metros de comprimento.

(2) Posicione as valetas em áreas onde a erosão natural possa favorecer o correto grau de inclinação. Caso não encontre uma área que propicie uma inclinação ideal, construa a valeta aumentando a profundidade dos furos à medida que se afaste do furo inicial.

b. Processos

Use os seguintes métodos para criação de valetas:

(1) Linha única (Fig 5-55)

É o método mais comum para abrir valetas. Realize a detonação posicionando os furos em uma linha única situada no centro da valeta proposta. A quantidade de furos será definida de acordo com o comprimento da valeta desejado. A tabela 5-3 fornece os dados para a construção de uma valeta simples.

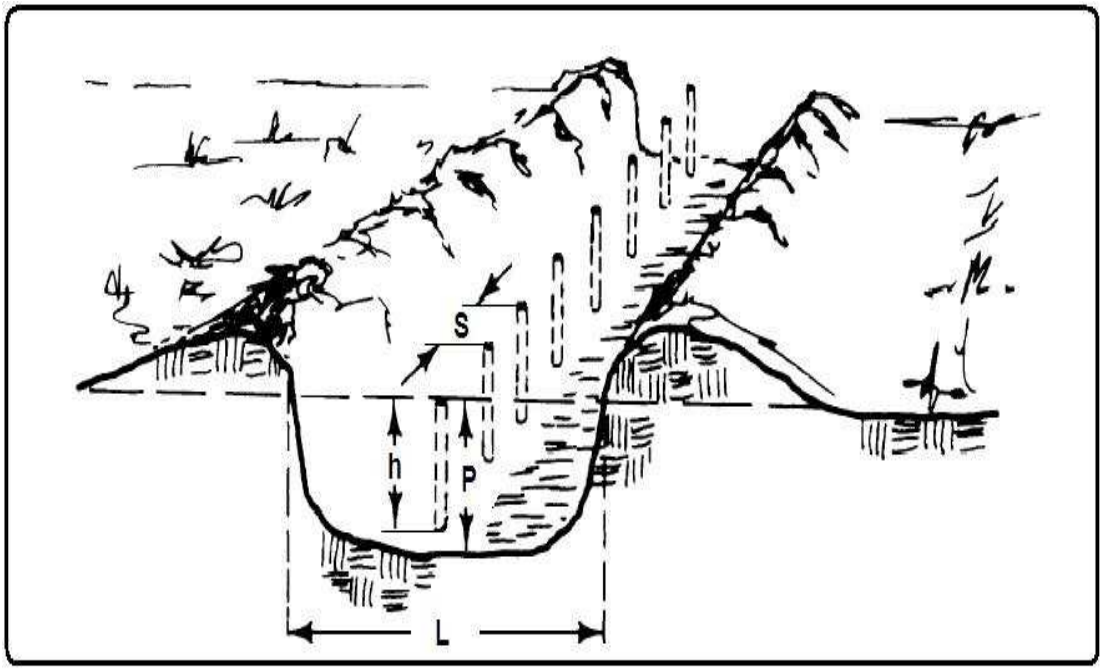


Fig 5-55. Método de construção de valeta com linha única

Nr de Ordem	Profundidade requerida da valeta (P)	Largura requerida da valeta (L)	Carga por furo	Profundidade do furo (h)	Espaçamento entre os furos (S)
1	0,75 m	1,50 m	0,25 kg	0,45 m	0,45 m
2	0,90 m	2,00 m	0,50 kg	0,60 m	0,60 m
3	1,20 m	3,00 m	1,00 kg	0,90 m	0,90 m
4	1,80 m	3,50 m	2,50 kg	1,50 m	1,20 m
5	3,00 m	5,00 m	5,00 kg	2,40 m	1,50 m

Tabela 5-3. Distâncias e cargas para abertura de valetas de linha simples

(b) Seções transversais (Fig 5-56)

Quando for necessário atingir em uma única detonação a largura desejada, utiliza-se o método das seções transversais. A tabela 5-4 fornece os dados para a construção deste tipo de valeta. Coloque uma carga extra no ponto central entre as seções transversais de furos.

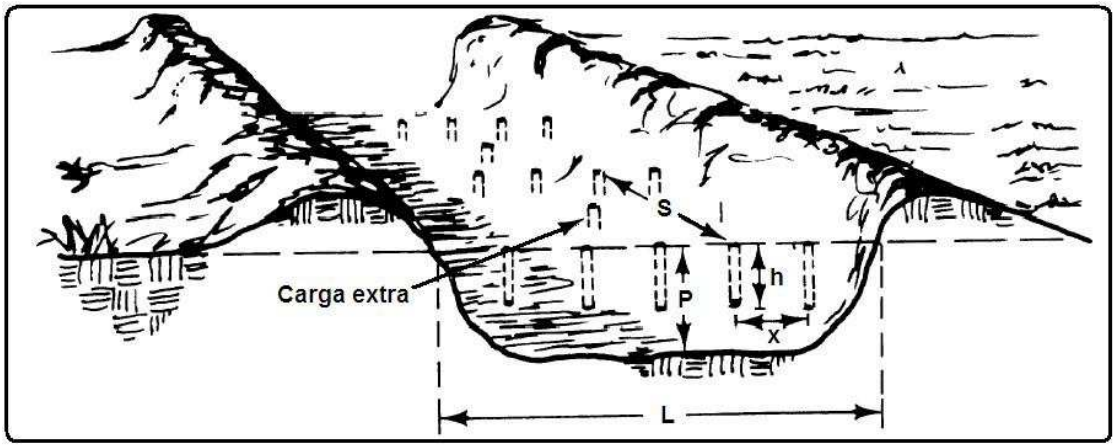


Fig 5-56. Método de construção de valeta com seção transversal

Nr de Ordem	Profundidade requerida da valeta (P)	Largura requerida da valeta (L) (metros) Número de furos por seção					Carga por furo (kg)	Profundidade do furo (h)	Espaçamento entre as seções(S)	Espaçamento entre os furos (x)
		3	5	7	9	11				
1	0,75 m	2,5	3,5	4,0	5,0	5,5	0,25	0,45 m	0,40 m	0,75 m
2	0,90 m	3,0	4,0	5,0	5,5	6,5	0,50	0,60 m	0,45 m	0,90 m
3	1,20 m	4,5	5,5	7,0	8,5	10,0	1,00	0,90 m	0,75 m	1,40 m
4	1,80 m	6,0	8,5	11,0	13,0	15,5	2,50	1,50 m	1,20 m	1,80 m
5	3,00 m	8,0	10,0	14,0	17,0	19,5	5,00	2,10 m	1,50 m	3,00 m

Tabela 5-4. Distâncias e cargas para abertura de valetas de seções transversais

11. CARGAS PARA DESTRUIÇÃO DE MATACÕES

a. Generalidades

(1) A destruição de matacões utilizando explosivos é um efetivo meio para sua remoção.

(2) Os métodos mais práticos de destruição são: “buraco de cobra”, “joão de barro” e fogacho.

b. Métodos (Fig 5-57)

(1) “Buraco de cobra” - este método consiste em cavar um buraco na terra logo abaixo da parte em que o matacão encosta no solo. A largura do buraco deve ter dimensões suficientes para que se consiga introduzir a carga. Coloque a carga abaixo e em contato com o matacão.

(2) “João de barro” - coloque a carga em uma fenda ou sulco do matacão. Cubra a carga com cerca de 25 a 30 cm de lama ou argila.

(3) Fogacho – abra um furo no topo do matacão com largura suficiente para introduzir a carga requerida para a detonação. Escorve a carga com cordel detonante e coloque o enchimento firmemente.

(4) A tabela 5-5 lista a quantidade de carga requerida para a destruição dos métodos acima listados.

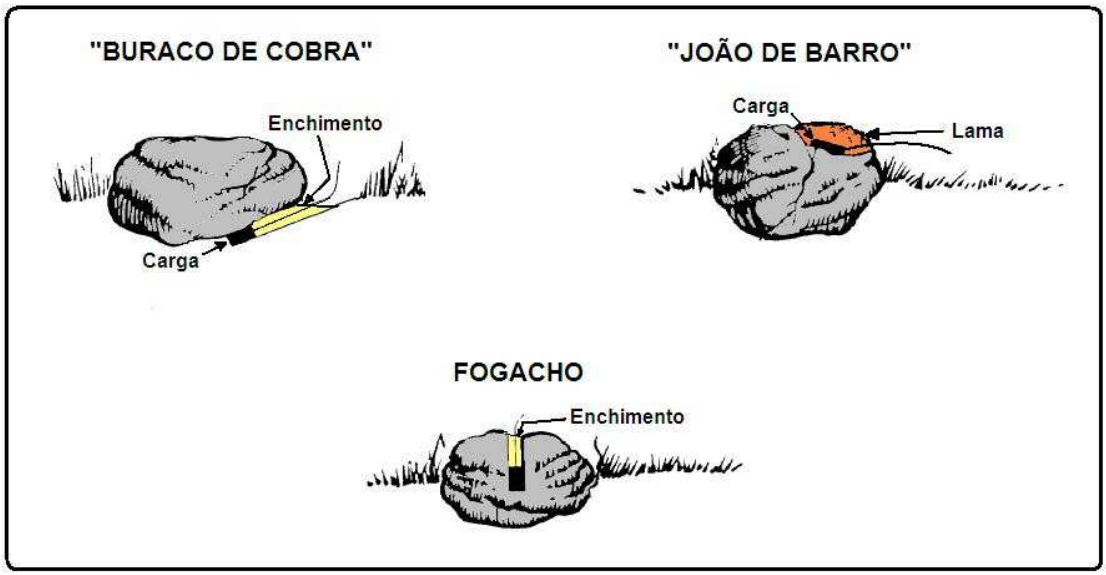


Fig 5-57. Destruição de matacões

Diâmetro do matacão	Quantidade de carga (g)		
	Buraco de cobra	João de Barro	Fogacho
0,45 m	250 g	500 g	75 g
0,60 m	300 g	750 g	100 g
0,90 m	350 g	1000 g	150 g
1,20 m	1000 g	1750 g	200 g
1,50 m	1500 g	2750 g	250 g

Tabela 5-5. Quantidade de carga para destruição de matacões

12. CARGAS PARA DESTRUIÇÃO DE EQUIPAMENTOS

ATENÇÃO

A destruição de peças metálicas de equipamentos pode produzir estilhaços perigosos ao pessoal. Tome as precauções necessárias para proteger o pessoal.

a. Armas de fogo

(1) Generalidades

A neutralização de armas de fogo consiste na destruição de seu cano ou tubo com explosivos ou com sua própria munição. Pode-se também remover ou destruir pequenos componentes essenciais para seu funcionamento, como o aparelho de pontaria ou outros mecanismos essenciais.

(2) Destruição

(a) Destruição com explosivos

1) Generalidades

a) Para neutralizar uma arma de fogo utilizando explosivos, deve-se primeiro colocar um tampão imediatamente acima da abertura da câmara.

b) Nas armas de pequeno calibre, que utilizam munições propelentes, coloque um enchimento de terra bem compactada no primeiro metro do tubo a partir da boca.

c) Para as armas pesadas que utilizem projéteis separados do propelente, simplesmente carregue um projétil e mire o tubo em uma direção segura para minimizar os danos caso o projétil venha ser ejetado.

2) Cálculo da carga

A tabela 5-6 detalha a carga requerida para os calibres padrões. Se necessário determine a carga utilizando a formula abaixo:

$$C = D^2 / 1400$$

Onde, C = carga de TNT, em kg.

D = calibre do tubo, em milímetros.

3) Preparação da carga

a) Acondicione o explosivo, de preferência o C4, dentro a abertura da câmara, imediatamente abaixo do tampão. Coloque o explosivo em estreito contato com câmara. Feche a abertura da câmara deixando um espaço suficiente para a passagem do cordel detonante, evitando dobras acentuadas e corte no cordel.

b) Se o tempo permitir, distribua cerca de 7 quilos de explosivo nos volantes de direção das armas autopropulsadas e nas rodas e eixos das armas autorrebocadas. Conecte as linhas de cordel detonante por meio de um nó de

junção e detone simultaneamente todas as cargas.

Calibre	Quantidade de carga (TNT)
76 mm	4,5 kg
81 mm	4,75 kg
90 mm	6,0 kg
105 mm	8,0 kg
120 mm	10,0 kg
155 mm	17, 5 kg
203 mm	30, 0 kg

Tabela 5-6. Quantidade de carga para destruição de armas de fogo

(b) Destruição improvisada

1) Quando não se dispõe de explosivos para a neutralização, utilize sua própria munição para a destruição.

2) Insira e aloje uma munição na câmara. Posicione uma segunda munição, completando com carga propelente (se necessário), no final do tubo. Use um longo cordel de disparo para iniciar a arma de fogo, a fim de manter uma conveniente distância de segurança.

b. Veículos

(1) Generalidades

Para destruir veículos conhecidos, consulte seu manual de campanha específico. Utilize, como sequência geral, a seguinte ordem de prioridades para a destruição de veículos:

< **Prioridade 1 –** carburador, distribuidor, bomba de combustível, bicos injetores, tanques e tubos de combustível.

< **Prioridade 2 –** bloco do motor e sistema de arrefecimento.

< **Prioridade 3 –** pneus, eixos e sistema de suspensão.

< **Prioridade 4 –** sistemas mecânicos e hidráulicos (SFC).

< **Prioridade 5 –** diferenciais e caixas de transmissão.

< **Prioridade 6 –** chassi.

(2) Veículos blindados

(a) Realize a destruição de veículos blindados avariados detonando uma única carga de 12 quilogramas dentro de sua couraça. A carga pode ser agrupada em um único conjunto ou divida em pequenas cargas colocadas em pontos vitais, como direção, torre e controles de tiro.

(2) Para aumentar os danos da destruição, faça com que a munição de dotação do veículo detone no interior simultaneamente com as outras cargas,

assegurando que todas as escotilhas, visada de armas e outras aberturas estejam fechadas.

(3) Se não for possível entrar no veículo blindado, coloque as cargas logo abaixo da torre, em contato com o anel, e na roda dentada traseira da lagarta (Fig 5-58).

(4) Caso não disponha de explosivos, proceda à destruição os veículos blindados usando armas anti-carro ou destruindo a arma principal com sua própria munição.

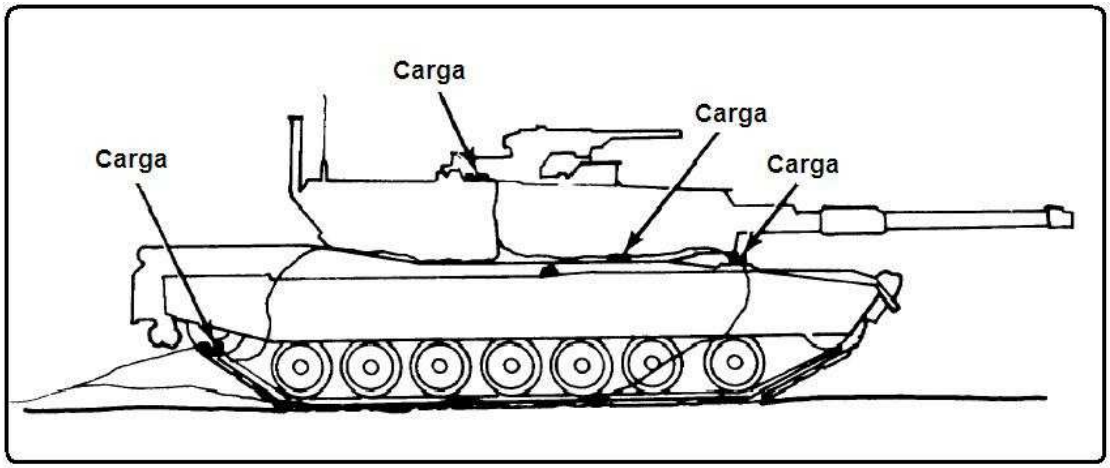


Fig 5-58 Destruição de veículo blindado

(3) Veículos sobre rodas

(a) Destruição com explosivos

1) Destrua os pontos vitais do veículo sobre rodas utilizando um machado ou detonando cargas explosivas.

2) Caso disponha de altos explosivos, utilize 1 kg para destruir o cabeçote, eixos e chassi.

(b) Destruição improvisada

1) Drene o óleo do motor e a água do radiador. Ligue o motor e gire com toda força até ele desligar.

2) Finalize a destruição queimando o veículo (coloque fogo no tanque de combustível).

Conteúdo extraído dos seguintes manuais:

- BRASIL. Estado-Maior do Exército. **C 5-25: Explosivos e destruições**. 2ª Ed. Brasília: EGGCF, 1991.
- BRASIL. Estado-Maior do Exército. **C 5-34: Vade-Mécum de Engenharia**. 3ª Ed. Brasília: EGGCF, 1996.
- BRASIL. Estado-Maior do Exército. **T 9-1903: Armazenamento, conservação, transporte e destruição de munições, explosivos e artifícios**. 1ª Ed. Brasília: EGGCF, 1970.
- BRASIL. Diretoria de Material de Engenharia. **Boletim Técnico Especial Nr 4: Normas de emprego e manuseio de cargas explosivas e dispositivos acionadores**. Brasília, 1983.
- BRASIL. Academia Militar das Agulhas Negras. **Apostila de explosivos e destruições do Curso Avançado**. Editora acadêmica.
- BRASIL. Academia Militar das Agulhas Negras. **Vade-Mécum de OT do Curso de Engenharia**. Editora Acadêmica.
- BRASIL. Academia Militar das Agulhas Negras. **Apostila de Explosivos e destruições do Curso de Engenharia**. Editora acadêmica.
- ATHAYDE, ALCIO AUGUSTO CARPES. **Instruções sobre desmonte de rocha no Instituto Militar de Engenharia**. Instituto Militar de Engenharia, 2008.

CAPÍTULO 6
DEMOLIÇÃO DE PONTES

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

a. Finalidades da demolição de uma ponte

A finalidade das demolições de pontes é criar fissuras em seus componentes chaves. Isto proporcionará estragos grandes o suficiente para tornar qualquer reparo inviável, forçando o inimigo a construir uma nova ponte em outro local. O vão exigido para demolição de uma ponte tem de exceder em 5(cinco) metros o comprimento das equipagens de ponte de assalto do inimigo. Para fins de planejamento, usa-se 25(vinte e cinco) metros como vão mínimo padrão de demolição, porém costuma-se adotar a medida de 35(trinta e cinco) metros como margem de segurança.

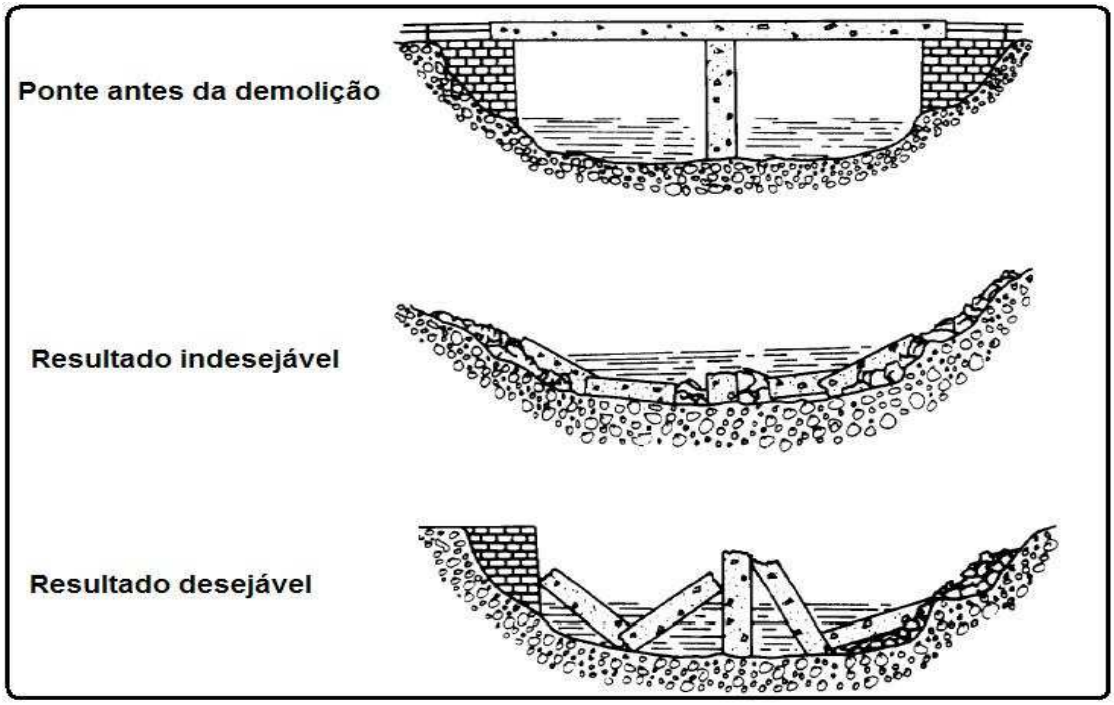


Fig 6-1. Conformação dos destroços de uma demolição de ponte

b. Grau de demolição

Geralmente, a demolição completa de uma ponte envolve a destruição de todos os seus componentes (extensões, encontros e limites). A demolição completa pode ser justificada quando o terreno forçar o inimigo a reconstruir uma ponte no mesmo local. Entretanto, a demolição completa não é normalmente exigida para a consecução de um objetivo tático. Escolha um método de abordagem, descritos a seguir, que consiga cumprir com eficiência a demolição planejada, utilizando o mínimo de recursos.

c. Destroços

Os destroços podem causar às forças inimigas consideráveis atrasos quando obstruem o vão (Fig 6-1). Os restos da ponte podem fornecer uma excelente dissimulação para minas e armadilhas. Sempre que possível, faça a demolição de um ponte de tal maneira que os restos resultantes impeçam a sua reconstrução.

2. CONSIDERAÇÕES

a. Qualificação de pontes

A primeira etapa para uma demolição eficiente de ponte é qualificar corretamente a ponte. O termo qualificação foi adotado para evitar confusão com classificação, que está relacionado com a capacidade de carga das pontes. A qualificação correta das pontes, aliado ao conhecimento elementar do projeto da ponte, permite que o encarregado da demolição selecione um método de abordagem apropriado. Todas as pontes estão enquadras em três categorias:

(1) Lance simples (Fig 6-2)

Nas pontes de lance simples, cada lance tem suas extremidades apoiadas sobre os suportes (pilares, cavaletes etc), não havendo nenhuma sustentação intermediária. Os apoios dos encontros mostrados na Fig 6-2 representam qualquer base que permita algum movimento horizontal (por exemplo, roletes de apoio, roletes de deslize e roletes de borracha).

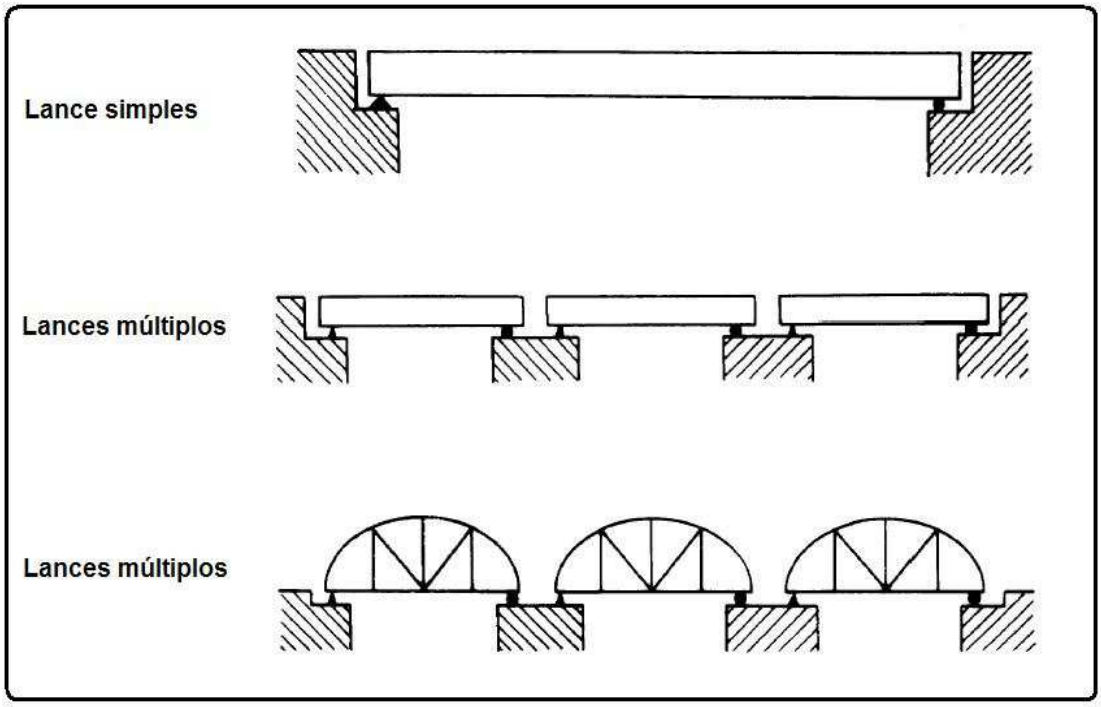


Fig 6-2. Pontes de lances simples

(2) Lance contínuo (Fig 6-3)

Nesse tipo de ponte, as vigas do lance se estendem sobre mais de dois suportes como uma ponte contínua.

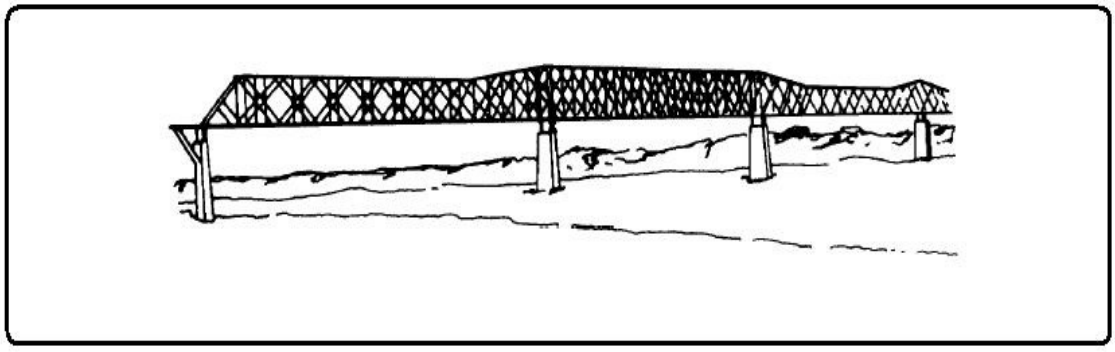


Fig 6-3. Ponte de lance contínuo

(3) Lance Misto (Fig 6-4)

Os princípios teóricos dessas pontes determinam os métodos de abordagem apropriados. Como exemplos desta categoria têm-se as pontes pênseis e as pontes móveis.

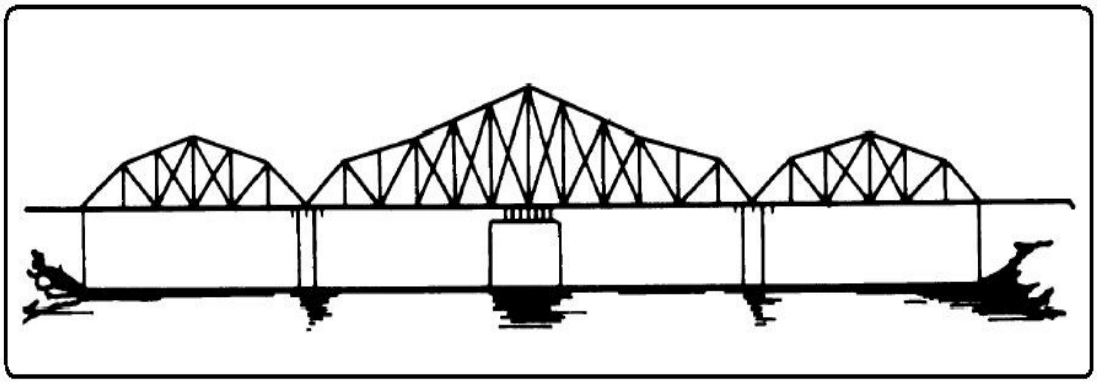


Fig 6-4. Ponte de lance misto (móvel)

b. Estágios de demolição

Ao projetar a demolição de uma ponte, a primeira prioridade é criar uma brecha. Para realizar isto, pode-se exigir uma ou duas abordagens. Outras ações adicionais que agravem o obstáculo podem ser executadas, se a situação permitir.

(1) Condicionantes mínimas

(a) Existem duas condicionantes mínimas para a demolição bem sucedida de ponte:

1) Projetar um mecanismo apropriado para o colapso da ponte; e

2) Assegurar de que o vão abordado esteja livre para, por seu próprio peso, se mover a uma distância que seja suficiente para criar a demolição desejada.

(b) Condicionante 1

Sob circunstâncias normais, toda ponte é uma estrutura estável. O objetivo de uma demolição é destruir os componentes essenciais da ponte de modo que se tornem instáveis e se desmoronem sob seu próprio peso. Ou seja, o encarregado da demolição dará forma a um mecanismo de colapso. Isso pode envolver um ou mais cortes completos através da estrutura ou na criação de pontos de fraqueza em determinadas peças da ponte. A Figura 6-5 mostra um mecanismo impróprio de colapso. Às vezes, demolir uma ponte investindo em seus encontros, antes da superestrutura, torna-se mais fácil, porém pode existir a possibilidade dela não desmoronar, mesmo que perca a sustentação fornecida por um ou vários de seus encontros. Para evitar este tipo de falha na demolição, coloque as cargas nas vigas estruturais da superestrutura, imediatamente acima dos encontros que estão sendo abordados.

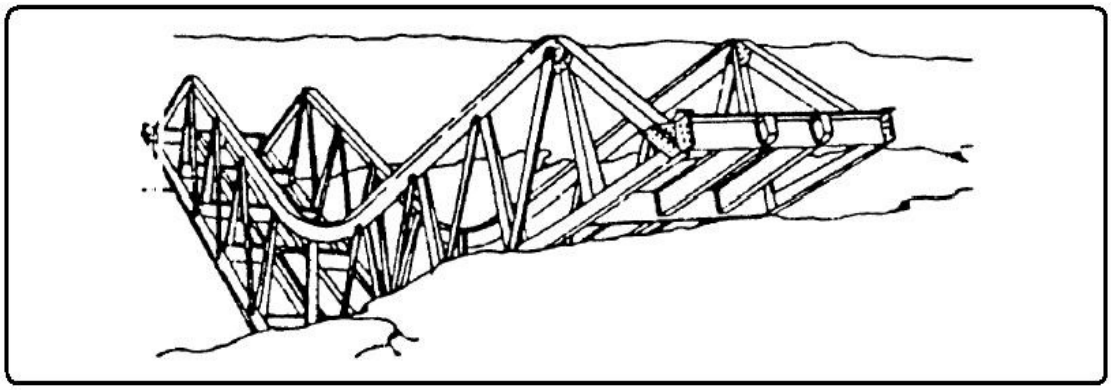


Fig 6-5. Demolição imprópria de ponte

(c) Condicionante 2

A Fig 6-6 mostra uma demolição da ponte onde o mecanismo de colapso foi formado, porém sua superestrutura engatou antes de cair, não dando forma ao obstáculo desejado. Para terminar a demolição, neste exemplo, é necessário remover somente uma pequena parcela do encontro para permitir que o lance despenque livremente.

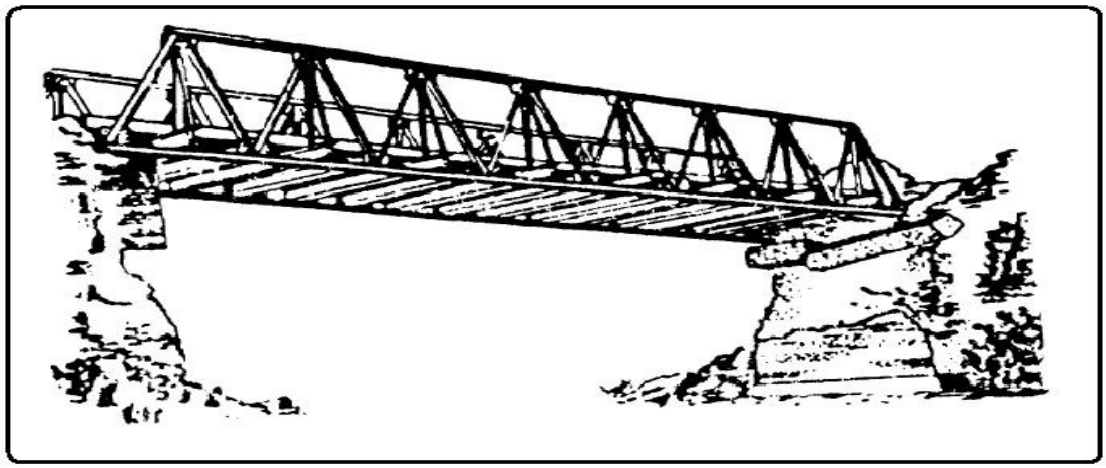


Fig 6-6. Demolição imprópria de ponte (engatada)

(2) Tipos de mecanismo de colapso

As figuras 6-7 a 6-9 ilustram três mecanismos básicos de colapso.

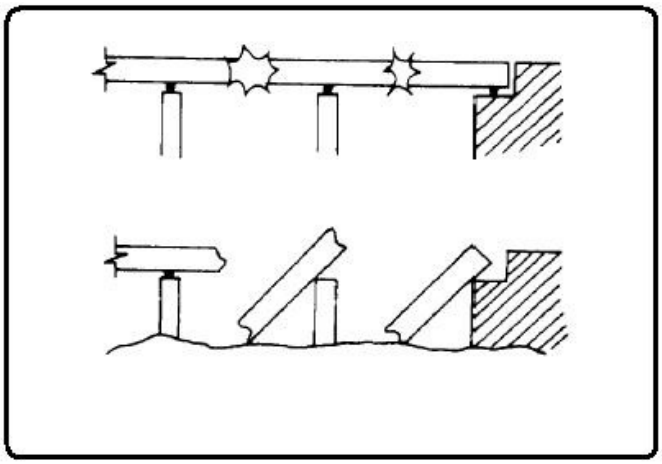


Fig 6-7. Mecanismo de colapso tipo “gangorra”

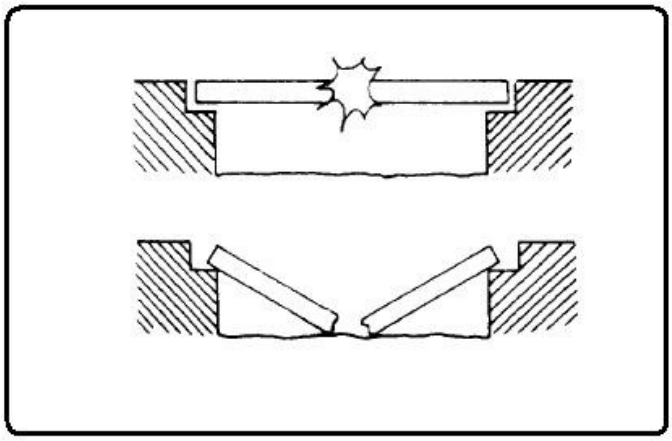


Fig 6-8. Mecanismo de colapso tipo “viga”

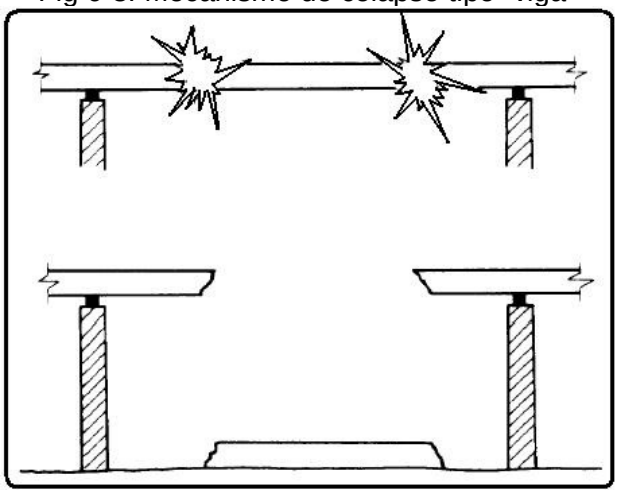


Fig 6-9. Mecanismo de colapso tipo “vão sem suporte”

(3) Demolições mal sucedidas da ponte

As duas razões possíveis para uma demolição mal sucedida são:

(a) Não-formação do mecanismo de colapso.

A demolição executada em uma ponte tipo “cantilever” (será descrita posteriormente) conforme a Fig 6-10 é um exemplo da não-formação do mecanismo de colapso. A probabilidade desta ocorrência é elevada ao abordar pontes contínuas.

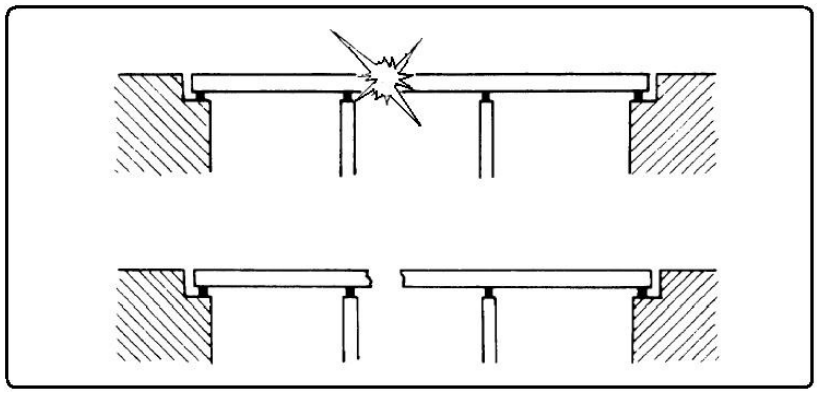


Fig 6-10. Não-formação do mecanismo de colapso

(b) Bloqueio.

O lance, uma vez deslocado pelo mecanismo de colapso, engata antes de cair o suficiente para criar o obstáculo desejado. As causas mais prováveis de um bloqueio são a formação de um arco de três-articulações ou a criação de um vão travado (Fig 6-11). A probabilidade desta ocorrência é elevada ao abordar pontes de lances simples.

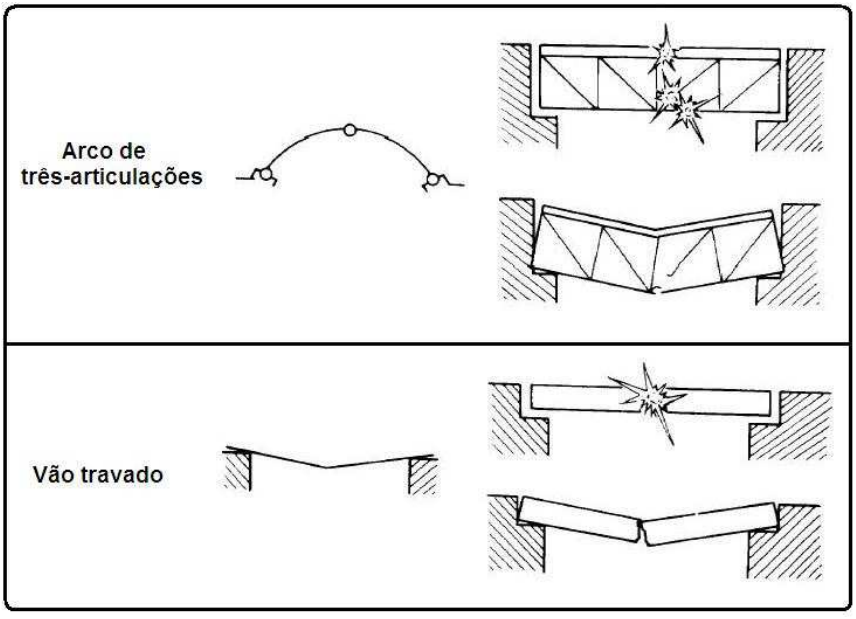


Fig 6-11. Bloqueio

c. Abordagem inferior

Na abordagem inferior, a articulação é formada na parte superior, pois como o lance declina, o corte se abre na parte de baixo. Dessa forma, pode-se formar um arco de três-articulações e não cair completamente. Isto acontece quando o comprimento do movimento de queda dos lances cortados for maior que o comprimento entre os encontros (Fig 6-12). Caso exista a possibilidade desta ocorrência, não realize uma abordagem inferior.

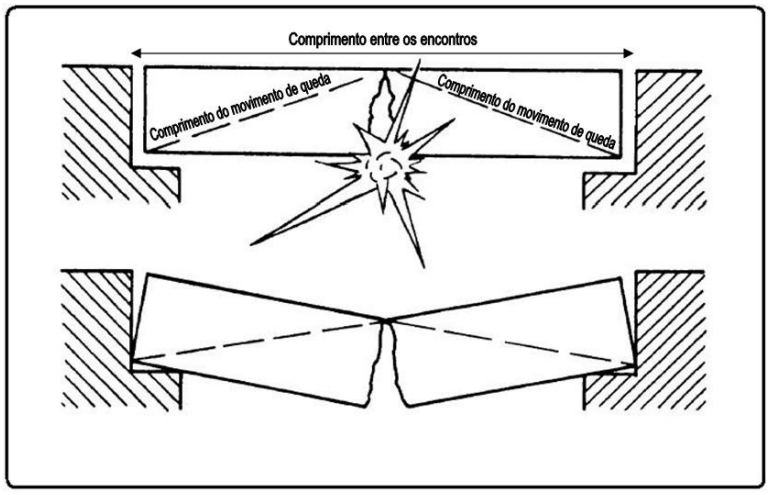


Fig 6-12. Abordagem inferior

d. Abordagem superior

Em uma abordagem superior, a articulação é formada na parte inferior. Como o lance cai, as extremidades superiores abertas pelo corte tendem a se aproximar. Em algumas demolições as faces cortadas do lance podem engatar formando um vão travado (Fig 6-13). Assegure que a largura do corte (área destruída pelos explosivos) é suficiente para prevenir a formação de um vão travado.

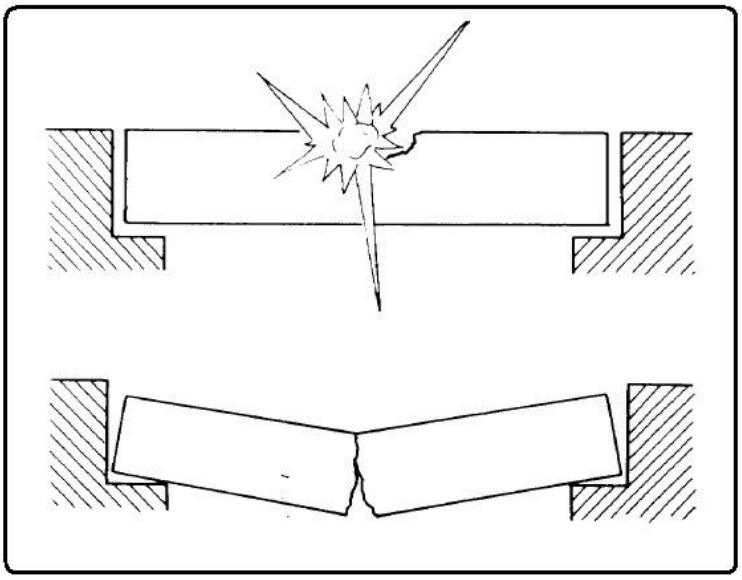


Fig 6-13. Abordagem superior

e. Métodos eficientes de demolição

(1) Para assegurar-se de que a demolição crie um mecanismo de colapso satisfatório e com razoável economia de recursos deve-se atender aos princípios abaixo listados. O melhor balanço entre estes princípios proporcionará um plano de demolição adequado para cada demolição.

(2) Uma demolição eficiente deve:

(a) Conseguir o efeito desejado.

(b) Utilizar uma quantidade mínima de recursos (tempo, mão-de-obra e explosivos).

(c) Atender as prioridades (ver descrição abaixo).

1) O relatório de reconhecimento para a demolição de uma ponte deve indicar claramente as prioridades das ações a serem executadas, listando separadamente as atividades constantes nas prioridades 1 (ações) e 2 (agravamentos) - as prioridades serão explicadas a seguir. Caso se consiga obter um vão considerado obstáculo na demolição, não há necessidade de se realizar os agravamentos constantes na Prioridade 2, ao menos que o relatório especifique uma demolição completa ou a abertura de um vão excessivamente longo. Se o comprimento total de uma ponte é pequeno demais para evitar o uso das equipagens de pontes de assalto do inimigo, considere o local como um obstáculo impróprio, ao menos que ele possa ser aumentado. A prioridade dos trabalhos de engenharia pode melhor ser aplicada em outra frente. Em contrapartida, para agravar a demolição, pode-se aumentar o vão destruindo os encontros e construindo crateras nos acessos. Neste caso, deve-se também considerar o agravamento dos locais de desvio próximos da demolição, empregando para isto minas, armadilhas e crateras.

2) Prioridades em uma demolição

a) Prioridade 1

Criação do obstáculo desejado – o vão exigido para demolição de uma ponte tem de exceder em 5(cinco) metros o comprimento das equipagens de ponte de assalto do inimigo. O ideal é que se obtenha o efeito requerido logo na primeira tentativa. Entretanto, a grande maioria das pontes de concreto armado ou protendido podem exigir sua demolição em duas etapas. A destruição realizada pelo lado amigo dos vãos permite uma posterior reconstrução mais econômica, caso seja necessária.

2) Prioridade 2

Agravamento da ponte destruída – a execução desta atividade somente será realizada quando estiver especificada no relatório de reconhecimento da demolição. Quando não existir este relatório ou o tempo permitir, o agravamento será realizado seguindo uma ordem definida. Esta sequência somente será modificada em circunstâncias excepcionais ou quando determinada pelo comandante imediato. A sequência padrão da demolição é:

a) Destruição e colocação de minas dos encontros afetados;

b) Colocação de minas nos locais de desvios prováveis;

c) Abertura de crateras e colocação de minas nos acessos e desvios prováveis; e

d) Destruição dos pilares da ponte.

3. MÉTODO PARA DIFERENCIAÇÃO DE PONTES

a. Generalidades (Ponte de lance simples e contínuo)

(1) Existem diversos fatores que permitem diferenciar adequadamente uma ponte de lance simples de uma de lances contínuos. A Fig 6-14 e os subparágrafos abaixo descrevem estes fatores.

b. Fatores para diferenciação de pontes

(a) Continuidade - nas pontes de lance simples, toda a superestrutura é composta de um lance ou lances múltiplos suportados em cada extremidade. Os membros estruturais principais (peças individuais) encontram-se com suas extremidades nos pilares e as peças iniciais são suportadas pelos encontros. As pontes com único lance simples são suportadas por seus encontros em cada margem. Já nas pontes contínuas, os membros estruturais principais são formados por uma única peça, não existindo quebras de continuidade sobre os pilares, caso existam.

(b) Altura da construção - nas pontes de vários lances simples a altura da estrutura de cada lance normalmente é menor nos pilares centrais. Em pontes de lance contínuo, a altura da estrutura frequentemente é maior nos pilares.

(c) Espessura da flange (pontes de viga de aço) - nas pontes de lance simples, a espessura da viga frequentemente é maior no centro do lance. Nas pontes de lance contínuo, o tamanho da viga normalmente é maior sobre os pilares.

(d) Apoios – nas pontes de vários lances simples são necessários dois pontos de apoio para suportar os vãos nos pilares centrais. As pontes de lance contínuo requerem somente um.

(e) Qualificação da ponte - a aparência externa de uma ponte pode, às vezes, ser ilusória. Sempre que possível, os projetos de construção devem ser consultados para verificar a qualificação correta da ponte. Caso, não se disponha dos desenhos e se desconheça sua qualificação, esta será enquadrada como uma ponte de lance contínuo, pois a demolição para este tipo de ponte demanda uma maior quantidade de explosivo.

(f) Procedimentos de reconhecimento - para usar corretamente as tabelas no Anexo O, deve-se qualificar a ponte em lance simples, lance contínuo ou misto, seguindo os procedimentos descritos nos parágrafos 6-4 a 6-6.

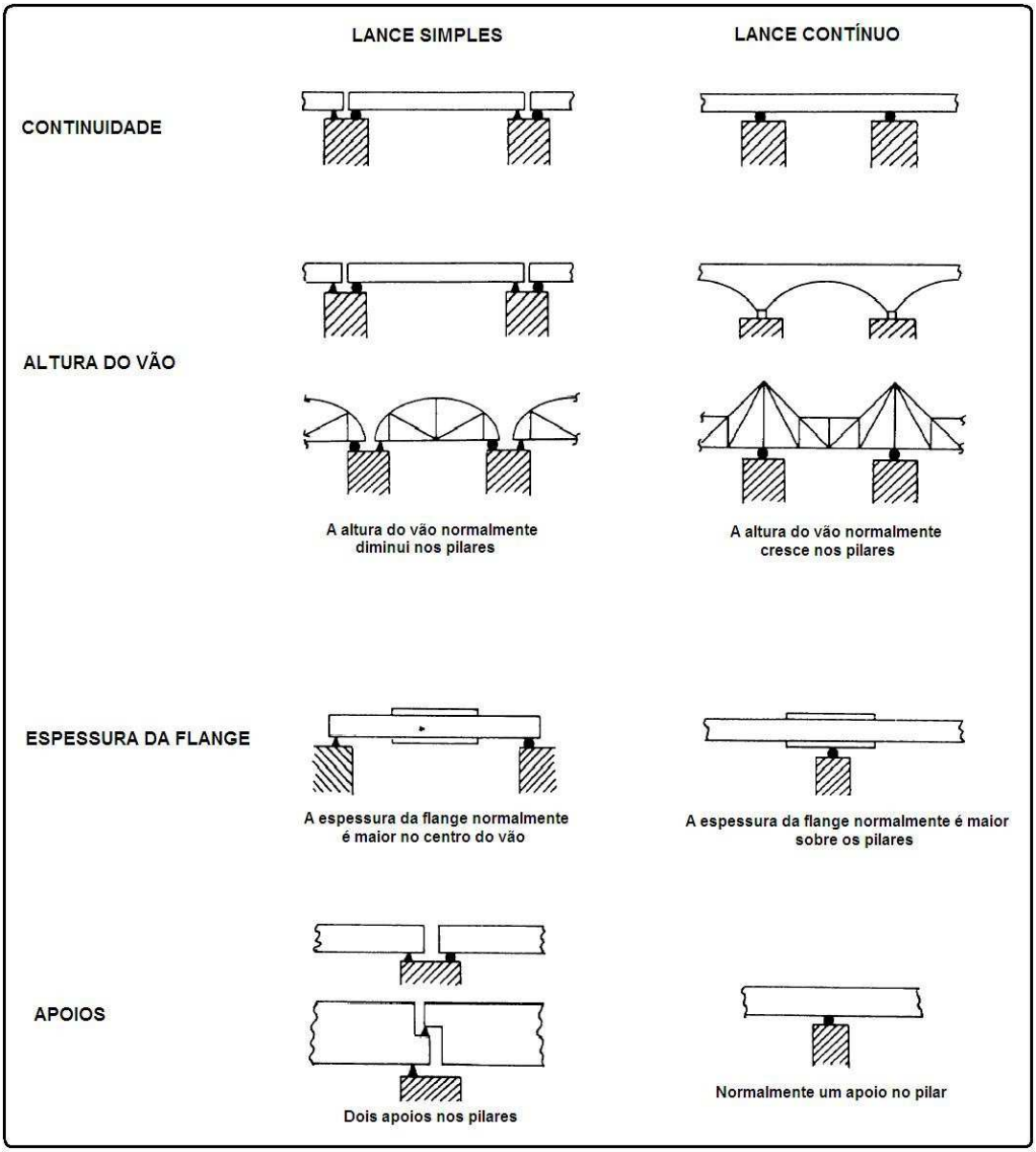

LANCE SIMPLES
LANCE CONTÍNUO
CONTINUIDADE
ALTURA DO VÃO
A altura do vão normalmente diminui nos pilares
A altura do vão normalmente cresce nos pilares
ESPESSURA DA FLANGE
A espessura da flange normalmente é maior no centro do vão
A espessura da flange normalmente é maior sobre os pilares
APOIOS
Dois apoios nos pilares
Normalmente um apoio no pilar

Fig 6-14. Fatores para identificação de pontes

4. MÉTODOS DE DEMOLIÇÃO DE PONTES DE LANCE SIMPLES

a. Qualificação

(1) Generalidades

A Figura 6-15 apresenta um diagrama de qualificação para pontes de lance simples. Entre no diagrama pela esquerda e siga as linhas e setas. O trajeto escolhido inclui todos os termos de qualificação aplicáveis para as pontes de lance simples. Existem quatro subcategorias principais: vigas de aço, treliça de aço, viga e laje de concreto, e arco. As três primeiras são subdivididas em tabuleiro superior, que carregam suas cargas no alto da estrutura principal. Nas pontes com tabuleiro superior, deve-se atentar para as posições dos apoios (apoio superior ou inferior da viga mestra), identificando se influenciará na possibilidade de engate.

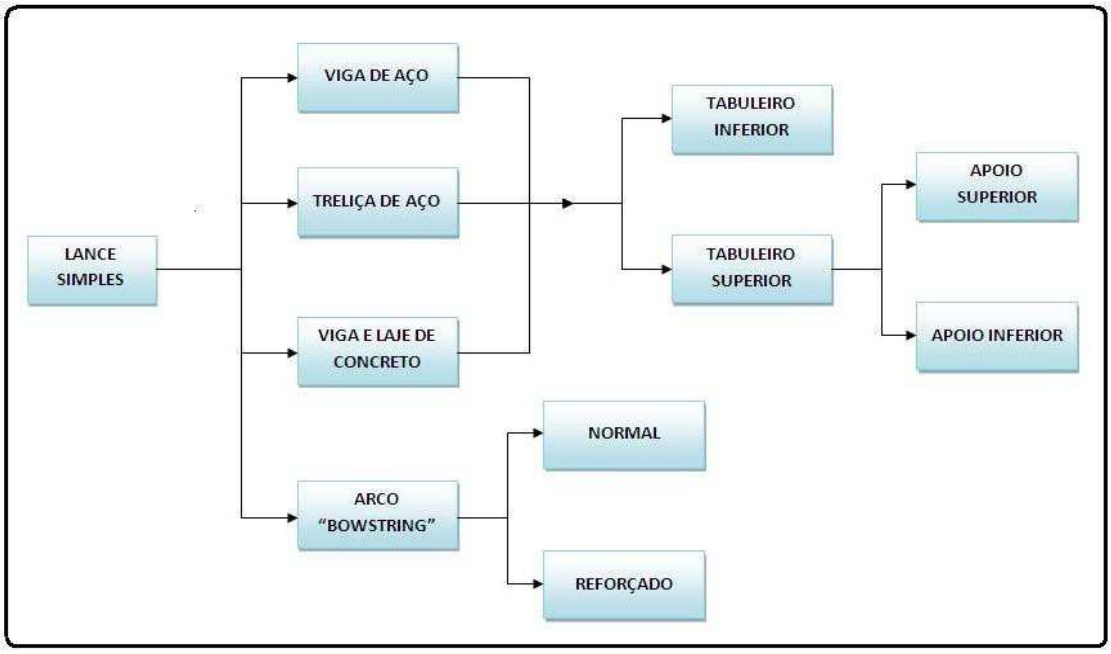


Fig 6-15. Diagrama para qualificação de ponte de lance simples

(2) Tipos de ponte de lance simples

(a) Pontes de viga de aço

Essas pontes podem ser construídas com vigas de aço normal, vigas laminadas ou vigas ocas. A Fig 6-16 mostra as seções típicas desse tipo de lance.

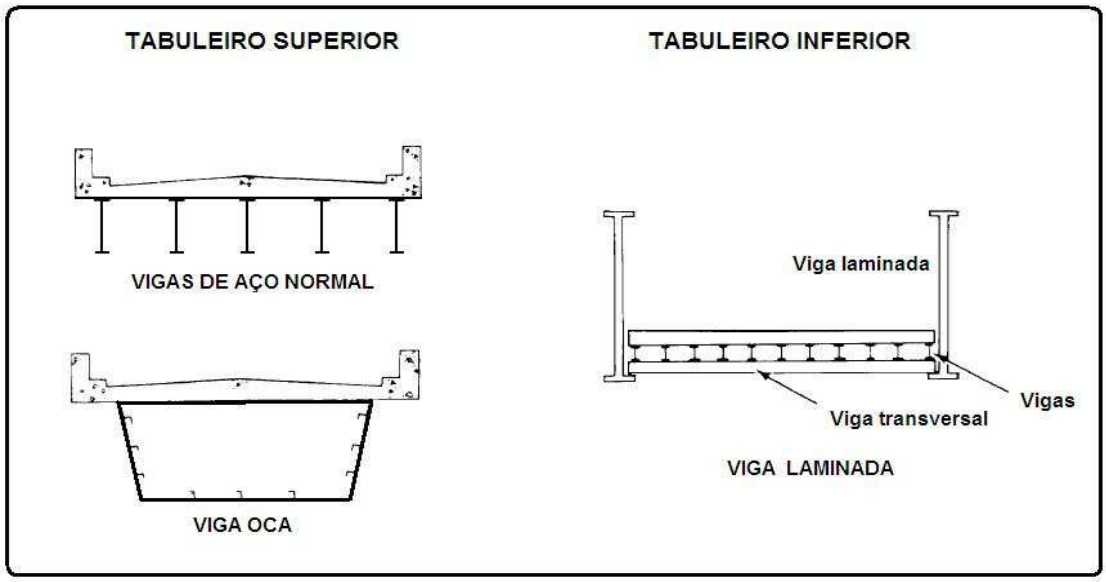


Fig 6-16. Típicas seções de ponte de vigas de aço (lance simples)

(b) Pontes de treliça de aço

A Figura 6-17 mostra as elevações laterais para os três tipos mais comuns de ponte de treliça.

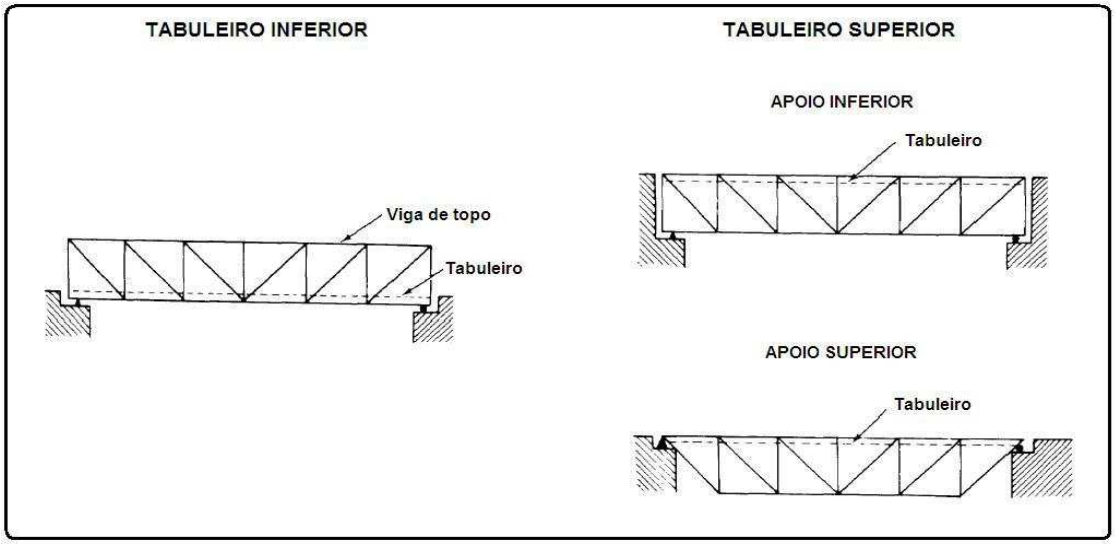


Fig 6-17. Tipos de pontes de treliça de aço (lance simples)

(c) Pontes de vigas e laje de concreto

Para fins de qualificação, não há necessidade de se distinguir entre concreto armado e protendido, pois os métodos de abordagem são iguais para ambos os tipos. A Figura 6-18 mostra a seção transversal do centro do lance desses tipos de pontes, onde a maioria dos vergalhões que compõem a estrutura de aço estão localizados no segmento inferior da superestrutura. Os métodos de abordagem estão detalhados no Anexo O.

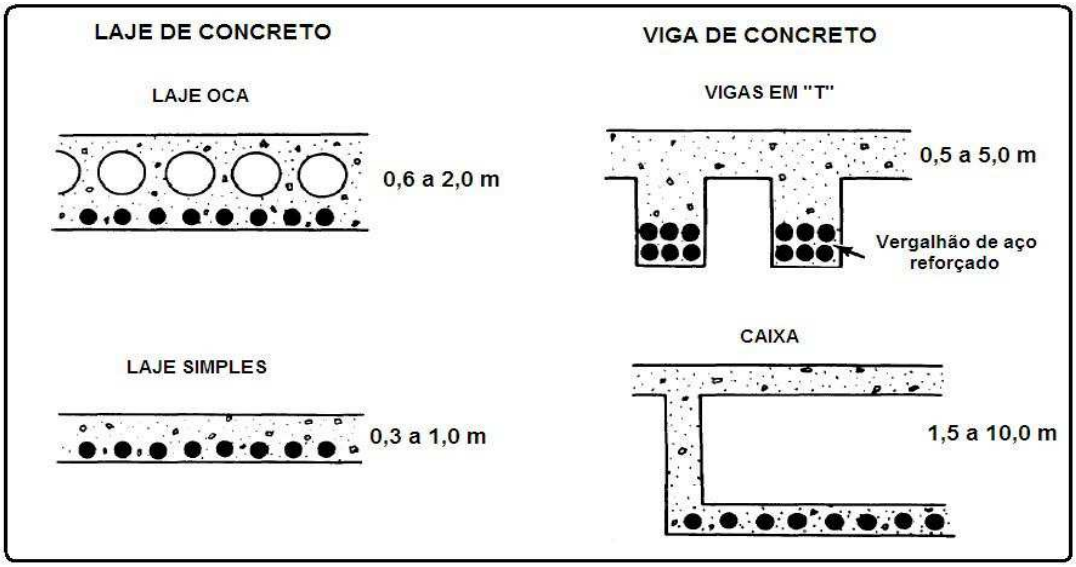


Fig 6-18. Corte da parte central do vão de pontes de laje e vigas de concreto

(d) Pontes em arco “bowstring”

1) Características

A Fig 6-19 mostra as características de uma típica ponte em arco “bowstring”. Estas peculiaridades estão abaixo relacionadas:

- Arco em compressão;

- O arco pode ser constituído por viga de aço, viga de concreto ou treliça de aço. A espessura do arco é maior ou igual à espessura do tabuleiro;

- A plataforma age como uma corda e resiste à força externa aplicada pelo arco;

- O tabuleiro, projetado como uma viga fraca, é suportado pelos tirantes; e

- Não existe nenhum apoio diagonal entre os tirantes.

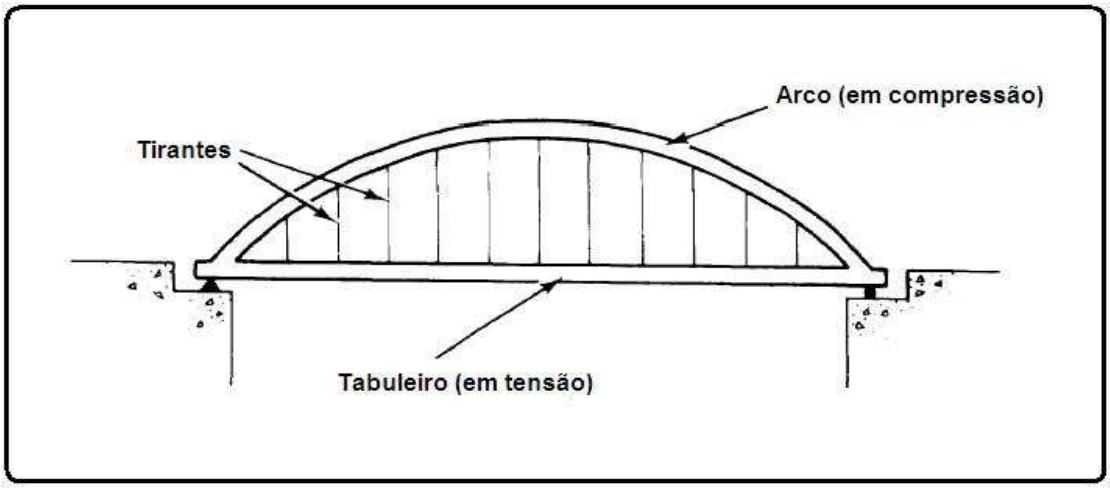


Fig 6-19. Corte da parte central do vão de pontes de laje e vigas de concreto

2) Usos do arco “bowstring”

Ocasionalmente o arco “bowstring” e os tirantes podem ser usados para reforçar uma ponte de vigas de aço ou de treliça. Deve-se qualificar esse tipo de ponte como uma ponte em arco de viga reforçada ou treliça reforçada (Fig 6-20). Neste caso, a espessura do arco será sempre menor do que a espessura do tabuleiro.

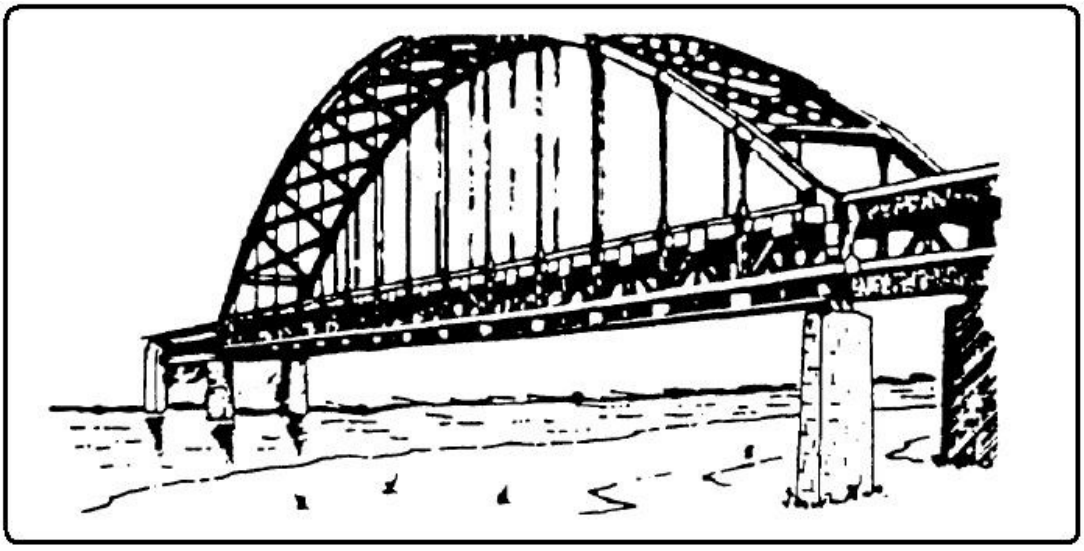


Fig 6-20. Ponte em arco de treliça reforçada

3) Pontes com pseudo-arco.

A ponte ilustrada na figura 6-21 não será qualificada como arco “bowstring” (lance simples), porque as forças externas do arco (arco-pseudo) estão restringidas inicialmente pelos encontros e não no tabuleiro. Ela deverá ser qualificada com uma ponte em arco de lance contínuo.

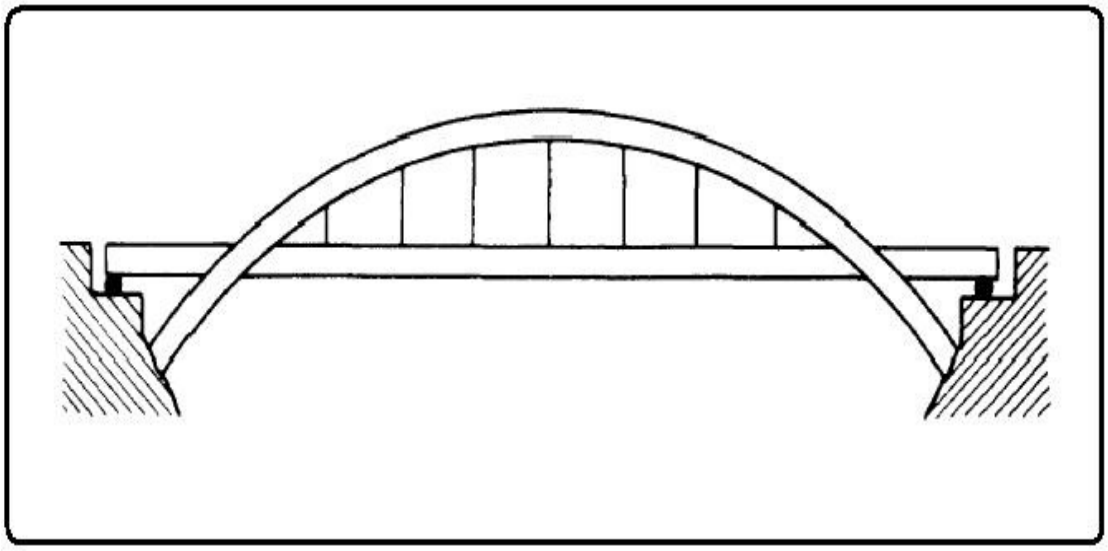


Fig 6-21. Ponte com arco (Pseudo-arco)

b. Reconhecimento

Para as pontes de lance simples, será utilizada a seguinte sequência de reconhecimento:

(1) Qualificação da ponte

(2) Medição (Figura 6-22)

(a) Comprimento (V) – comprimento total do vão a ser atacado, em metros.

Observação: esta medida não é o tamanho do vão livre, mas o comprimento total do tabuleiro de ponta a ponta.

(b) Altura (H) – altura total da viga, treliça ou caixa, incluído o piso de rolamento, em metros.

(c) Afastamento (A) - soma das medidas do afastamento entre o tabuleiro e o encontro em ambos os lados, em metros.

(d) Espaçamento médio dos apoios (S) - medida do comprimento médio do espaçamento dos apoios entre o fim do tabuleiro e a face livre do encontro, em metros.

(3) Determine o método de abordagem (Anexo O).

(4) Determine as dimensões do vão requeridas para cálculos da carga.

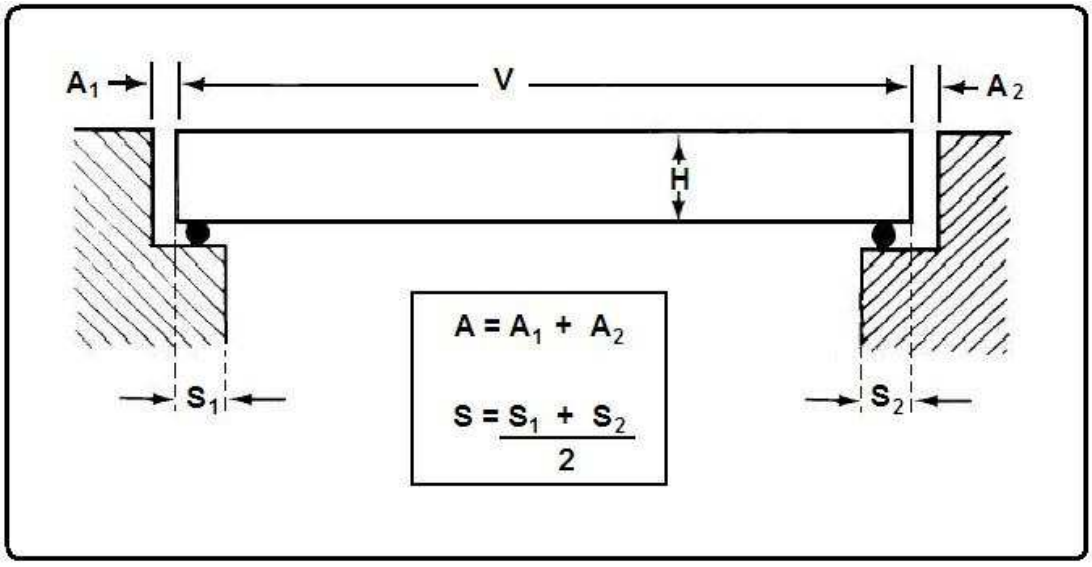


Fig 6-22. Dimensões de uma ponte de lance simples

c. Demolição do vão

Dois conceitos aplicam-se ao demolir um vão de lance simples:

(1) Ponto de abordagem – deve ser próximo ou no centro do vão, pois:

- Os momentos de flexão são máximos no centro do vão; e
- A probabilidade da ponte engatar durante a queda é reduzida se for destruída no centro.

(2) Linha de abordagem – a linha de abordagem deve ser paralela às linhas dos encontros (Fig 6-23). Fazendo-se isso, reduz-se consideravelmente o risco das duas partes do lance destruído girar em sentidos opostos e engatar. Não se deve empregar qualquer técnica que induza uma torção na ponte. Se a linha de abordagem for posicionada sobre vigas transversais, isto é, paralelas aos encontros, esta deve ser reposicionada para estar entre essas vigas (Fig 6-24).

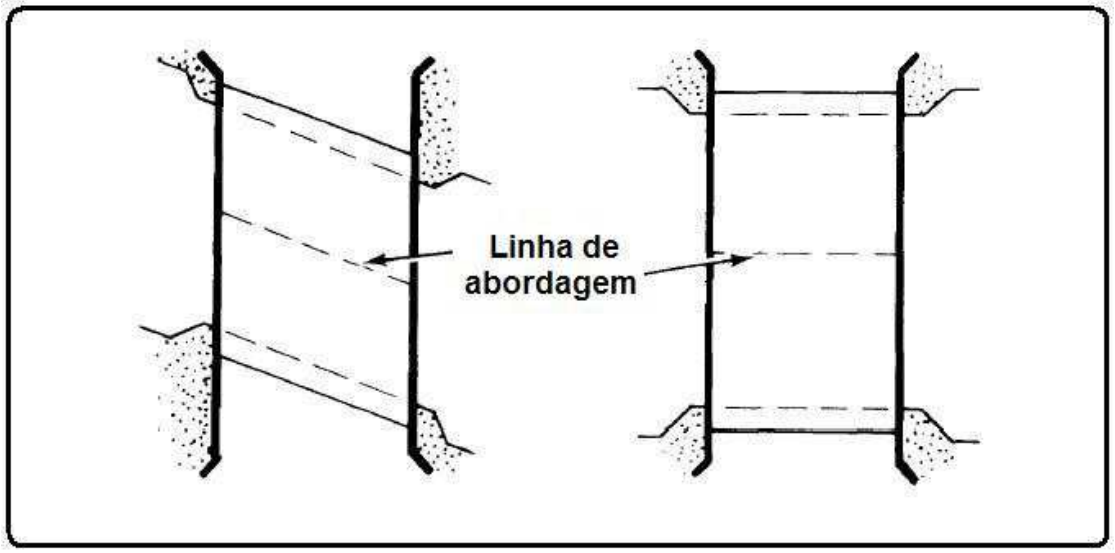


Fig 6-23. Linhas de abordagem em ponte de lance simples

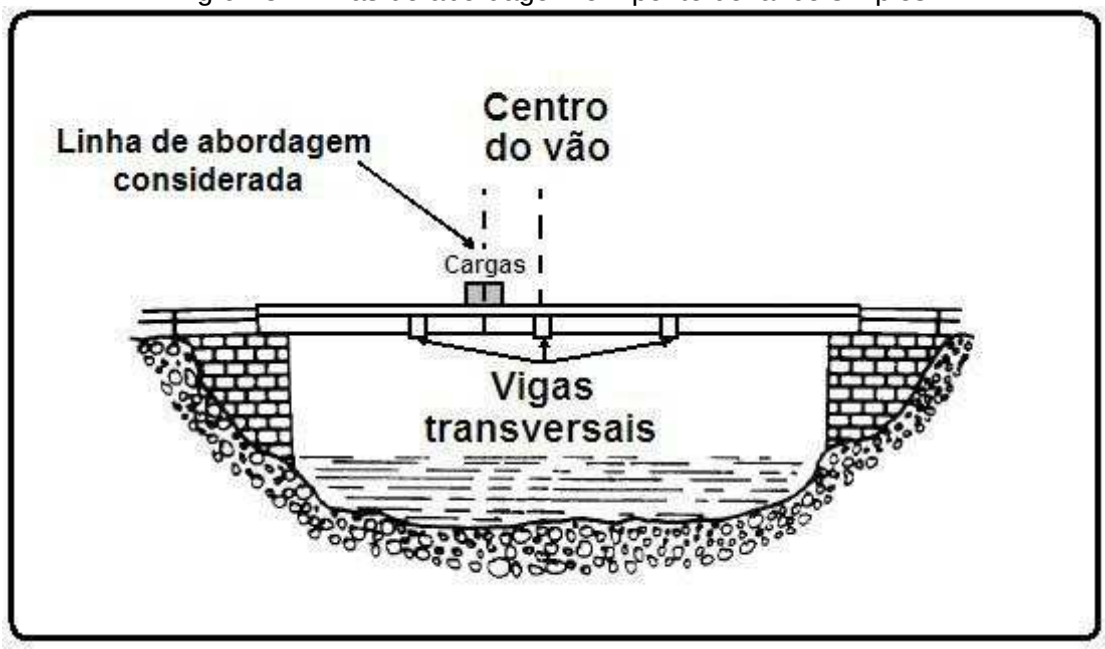


Fig 6-24. Linhas de abordagem em ponte de lance simples

d. Métodos de demolição

(1) Generalidades

A tabela O-3 do Anexo O lista em uma ordem sugerida, os métodos de abordagem comumente utilizados para uma demolição mais econômica de acordo com a qualificação da ponte. Dentro de cada categoria estão mostradas variações

para os diferentes tipos de materiais de construção, configurações do vão, capacidades de carga (rodovia, ferrovia, ou ambas), largura do vão e características dos encontros. Os três processos recomendados para demolição desse tipo de ponte são: abordagens inferiores, superiores e diagonais. Em todos os casos, assegure-se que não ocorra o engate da ponte durante o colapso.

(2) Tipos de abordagem

(a) Abordagem inferior – sempre que possível deve-se utilizar este tipo de abordagem, pois dessa forma não ocorrerá a interrupção da ponte até o momento da demolição. As vigas de concreto armado e protendido (tensão) são muito vulneráveis à abordagem inferior, pois a estrutura de aço interna está localizada na parte inferior das vigas e a espessura do concreto que a cobre é menor (Fig 6-18). Suas principais desvantagens são o longo tempo e esforço necessários para colocar e inspecionar as cargas. Torna-se muito dificultosa a colocação de uma quantidade de explosivos abaixo de uma laje que garanta um corte mais profundo que 15 centímetros. O afastamento requerido (A_R) deve ser calculado para prevenir o engate usando a tabela O-1 do Anexo O. Se o afastamento total A for maior do que A_R, não ocorrerá o travamento. Se A for menor do que A_R, deverá ser utilizada uma abordagem superior ou diagonal ou destrua um dos encontros onde possivelmente ocorreria o engate.

(b) Abordagem superior – quando se utilizar deste tipo de abordagem, será necessário remover um comprimento mínimo necessário (V_R) do lance para evitar o engate da ponte. O V_R será determinado usando-se a tabela O-2 do Anexo O. O V_R será removido por meio de uma seção em "V" ao longo da espessura da viga da ponte. Para as pontes de concreto armado e protendido deve-se utilizar as fórmulas de carga de pressão listadas no capítulo 5. Esta ação por si só causará um colapso na estrutura da ponte, não havendo necessidade de cortar o aço que reforça as vigas.

(c) Abordagem diagonal – nesta abordagem, todas as estruturas da ponte devem ser cortadas (tabuleiro, corrimão, tubulações de serviço etc). Deve-se utilizar um ângulo de abordagem de aproximadamente 70 graus em relação à horizontal para impedir o engate. A carga de estar posicionada entre V/2 e V/3 (Fig 6-25). Embora uma abordagem angular seja mais eficaz em alguns tipos de pontes, ela torna-se essencial quando existir a necessidade de se manter o fluxo de veículos sobre a ponte.

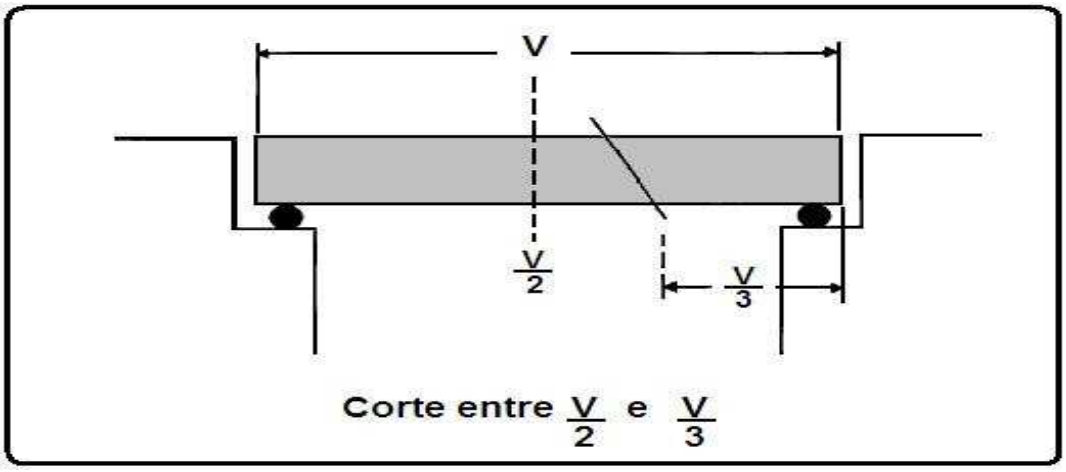


Fig 6-25. Abordagem diagonal

5. MÉTODOS DE DEMOLIÇÃO DE PONTES LANCES CONTÍNUOS

a. Qualificação

(1) Generalidades

A Figura 6-26 apresenta um diagrama de qualificação para pontes de lance contínuo. Esse diagrama deve ser utilizado da mesma forma que o das pontes de lance simples. Existem seis subcategorias principais: “cantilever”, “cantilever” com vão suspenso, viga e treliça, quadro rígido, arco e arco de alvenaria. As primeiras cinco categorias são diferenciadas pela construção (aço e concreto), pois existe um método diferente de demolição para cada material. Caso este tipo de ponte for construído com mais de um tipo de material (por exemplo, vigas de aço suportando um tabuleiro de concreto armado), o material que compõe a estrutura principal de suporte longitudinal determinará o método de demolição.

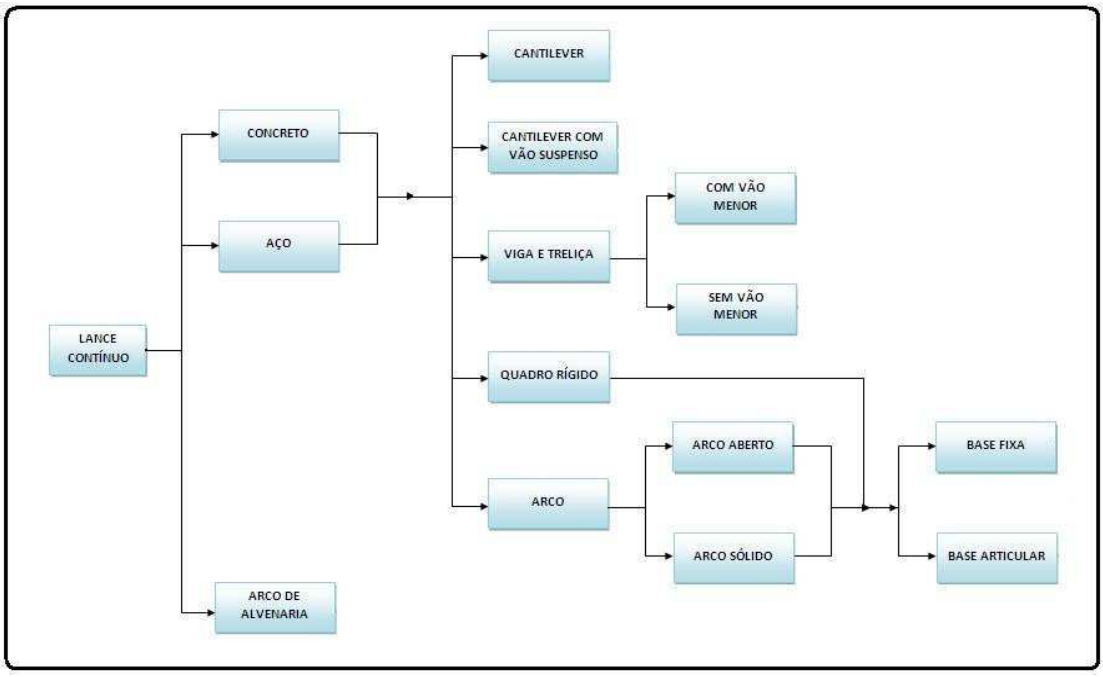


Fig 6-26. Diagrama para qualificação de ponte de lance contínuo

(2) Tipos de ponte de lance contínuo

(a) Pontes “cantilever”

Esta ponte é caracterizada por ter o ponto de junção da tesoura no centro do lance e não sobre os pilares. Em algumas pontes deste tipo, parte do lance pode estar construída dentro dos encontros, tornando difícil sua identificação (Fig 6-27).

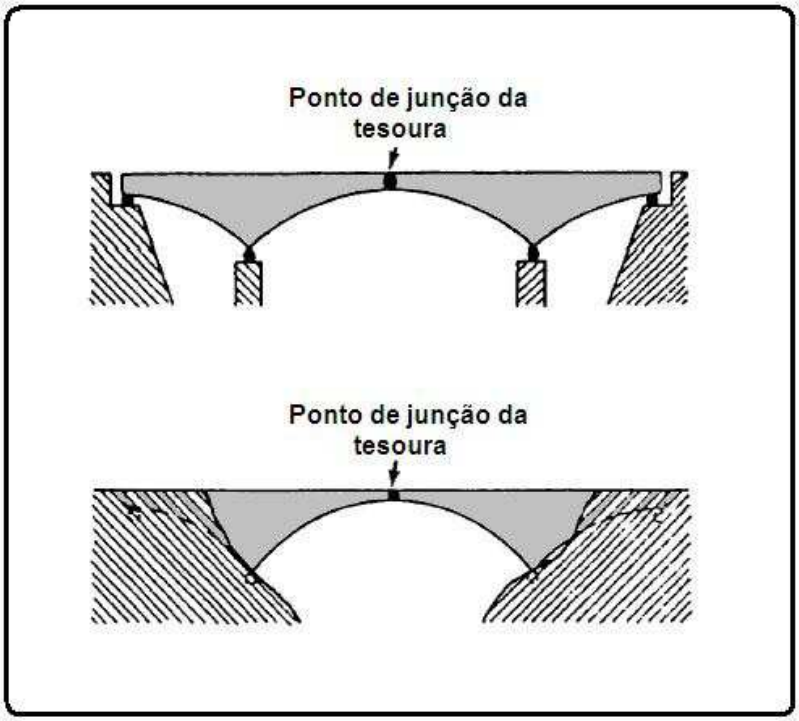


Fig 6-27. Ponte “cantilever”

(b) Pontes “cantilever” com vão suspenso (Fig 6-28)

Caso uma ponte “cantilever” apresente um vão suspenso com 5(cinco) metros mais longo que a capacidade das equipagens de pontes de assalto do inimigo, a demolição levará menos tempo. Os vãos suspensos destas pontes são considerados para fins de demolição, como uma ponte de lance simples.

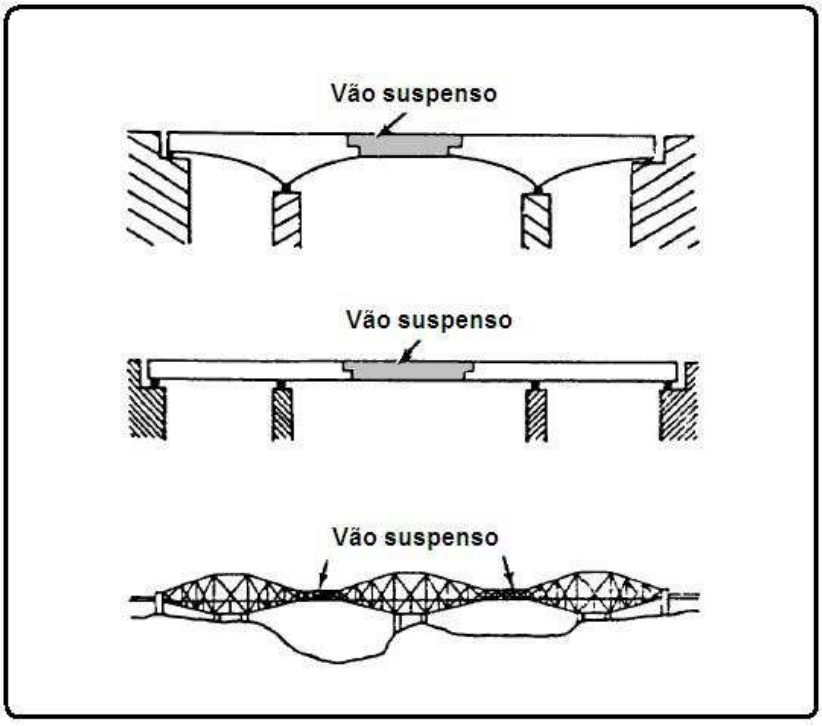


Fig 6-28. Ponte “cantilever” com vão suspenso

(c) Pontes de viga ou treliça

Este tipo de ponte apresenta uma seção contínua de encontro a encontro. Elas estão divididas entre as que possuem lances com comprimentos

similares (Fig 6-29) e aquelas que apresentam lances mais curtos que os outros (Fig 6-30 e 6-31). Os dois tipos utilizarão métodos de demolição distintos. Um vão curto é caracterizado por ter uma extensão menor que ¾ do comprimento de um vão adjacente.

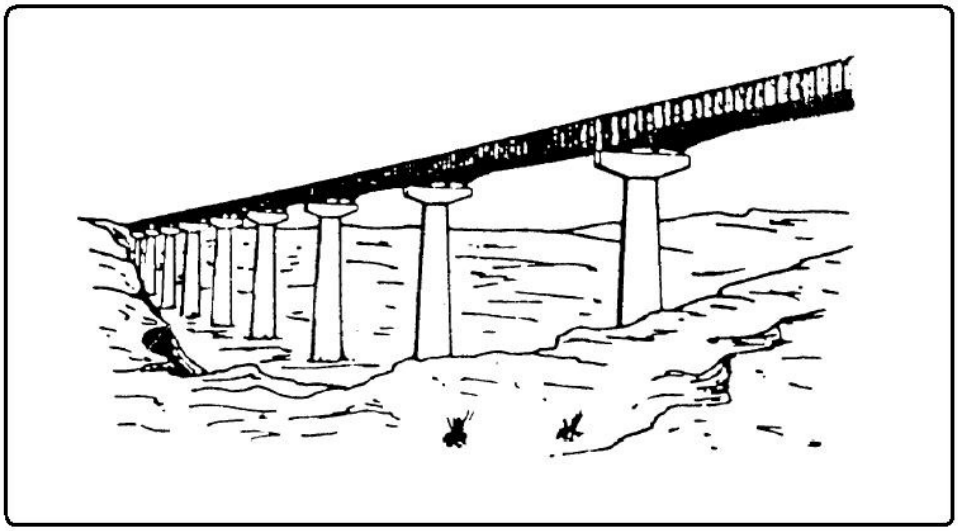


Fig 6-29. Ponte de viga com vãos similares

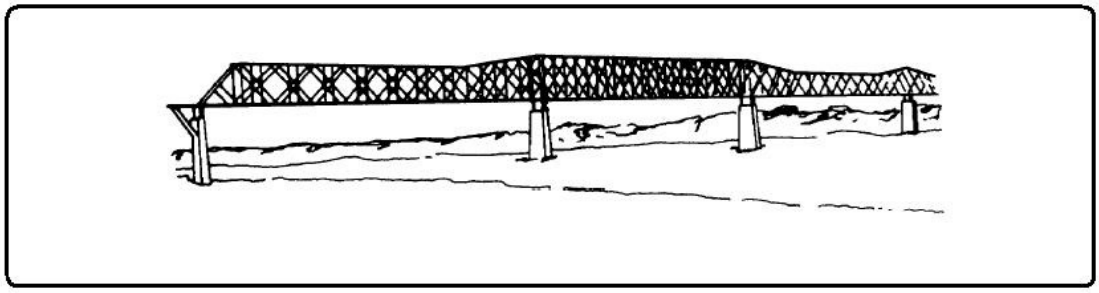


Fig 6-30. Ponte de treliça de aço com um vão menor

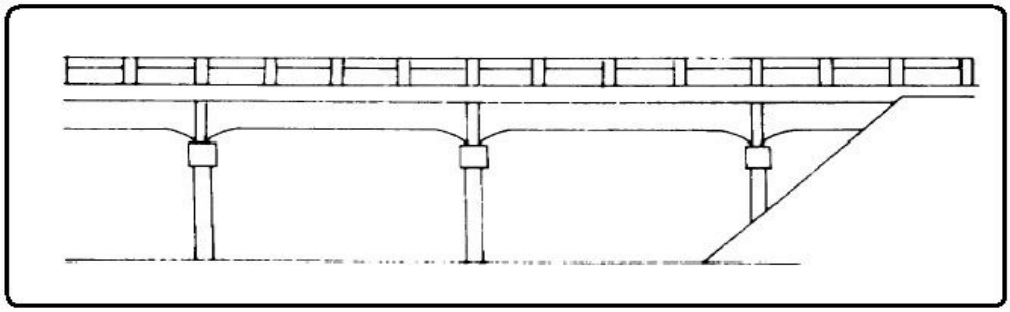


Fig 6-31. Ponte de viga de concreto com um vão menor

(c) Pontes de quadro rígido (Fig 6-32)

Neste tipo de ponte a superestrutura e a infraestrutura estão monoliticamente ligadas, eliminando-se o uso de aparelhos de apoio. Elas estão divididas entre as que possuem base fixa e aquelas com base articular. Caso não seja possível determinar o tipo da base, deve-se considerá-la como fixa. As pontes de quadro rígido, ao contrário das pontes em arco, não possuem uma curvatura contínua entre a base e o centro do lance.

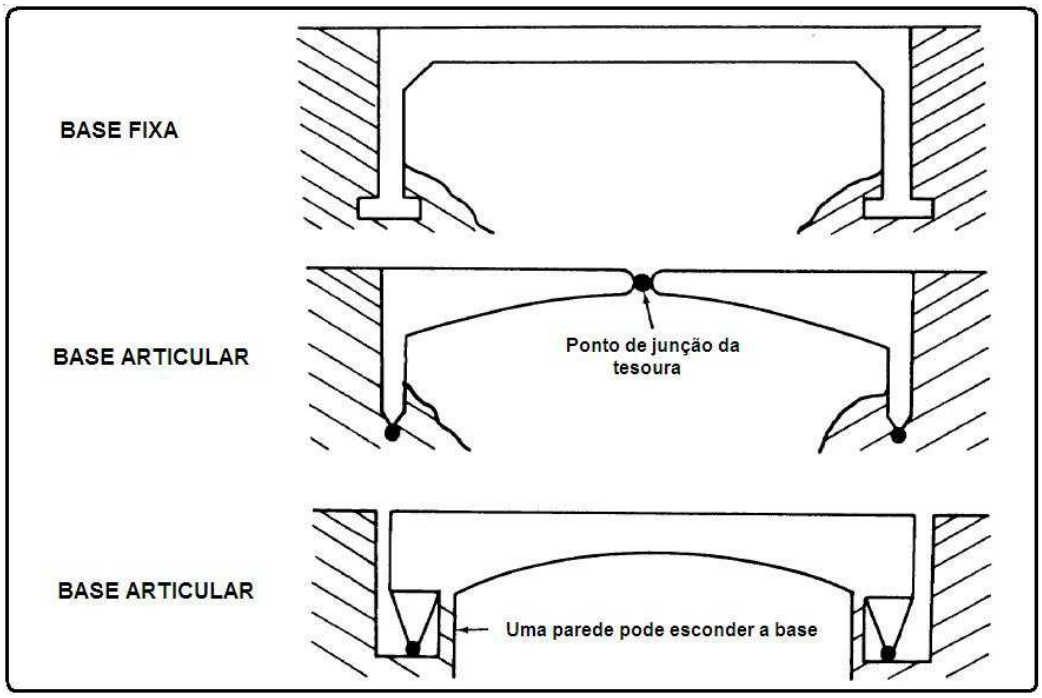


Fig 6-32. Ponte de viga de concreto com um vão menor

(d) Pontes em arco (Fig 6-33)

As estruturas em arco permitem a utilização do concreto armado convencional em pontes com grandes vãos e com pequeno consumo de material. O eixo do arco é preferencialmente projetado coincidindo com a linha de pressões devidas à carga permanente, para tirar proveito da boa resistência à compressão que o concreto possui. As pontes em arco são divididas entre arco sólido ou aberto e base fixa ou articular (Figura 6-33). Em caso de dúvida em relação à base, considere-a como fixa.

(e) Pontes em arco de alvenaria (Fig 6-34)

A identificação deste tipo de ponte é realizada pela existência de segmentos de arco em forma de anel. Em alguns casos, por ter uma configuração muito parecida, esta ponte pode ser facilmente confundida com uma ponte de concreto armado. As pontes de concreto em sua maioria, não possuem uma face fechada no interior do arco.

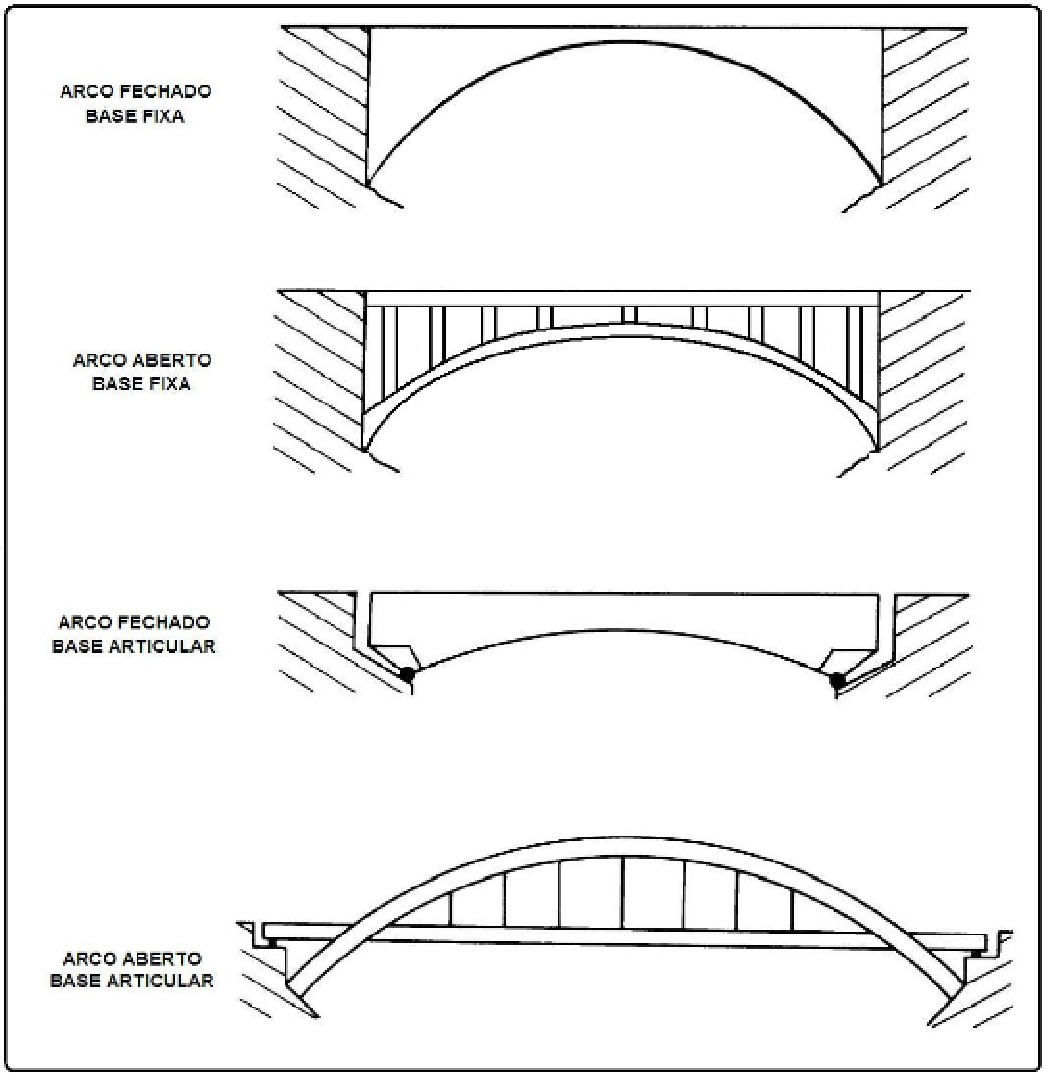


Fig 6-33. Ponte de viga de concreto com um vão menor

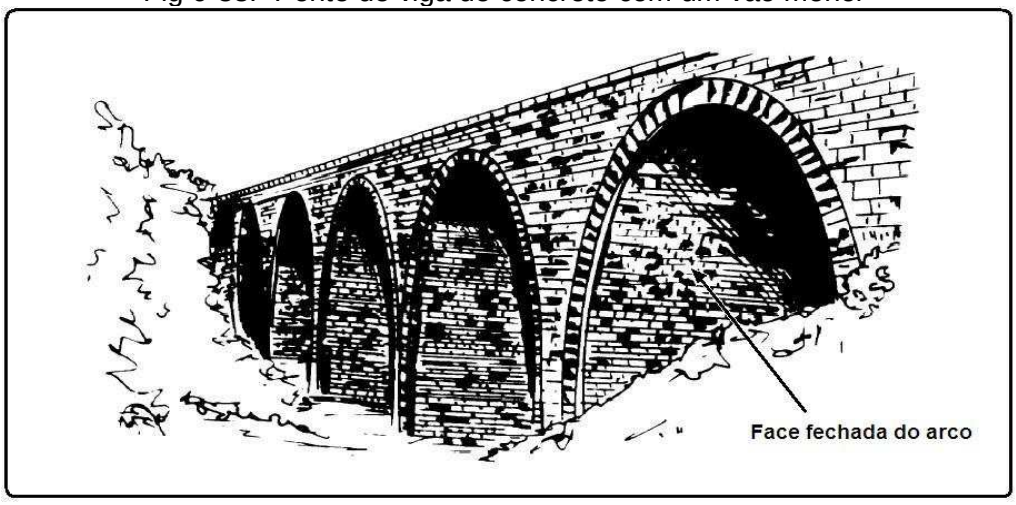


Fig 6-34. Ponte de arco de alvenaria

b. Reconhecimento

Será utilizada a seguinte sequência de reconhecimento, para as pontes de lance contínuo:

(1) Qualificação a ponte

(2) Medição da ponte (Fig 6-35)

(a) Comprimento (V) – comprimento total do vão a ser abordado (entre as linhas centrais da base – apoios), em metros.

(b) Altura (H) – altura total da viga, treliça ou caixa, incluído o piso de rolamento, em metros. Nas pontes de arco e quadro rígido, esse tamanho será calculado da origem ou final da perna de apoio até o tabuleiro ou topo do arco, considerado a maior medida.

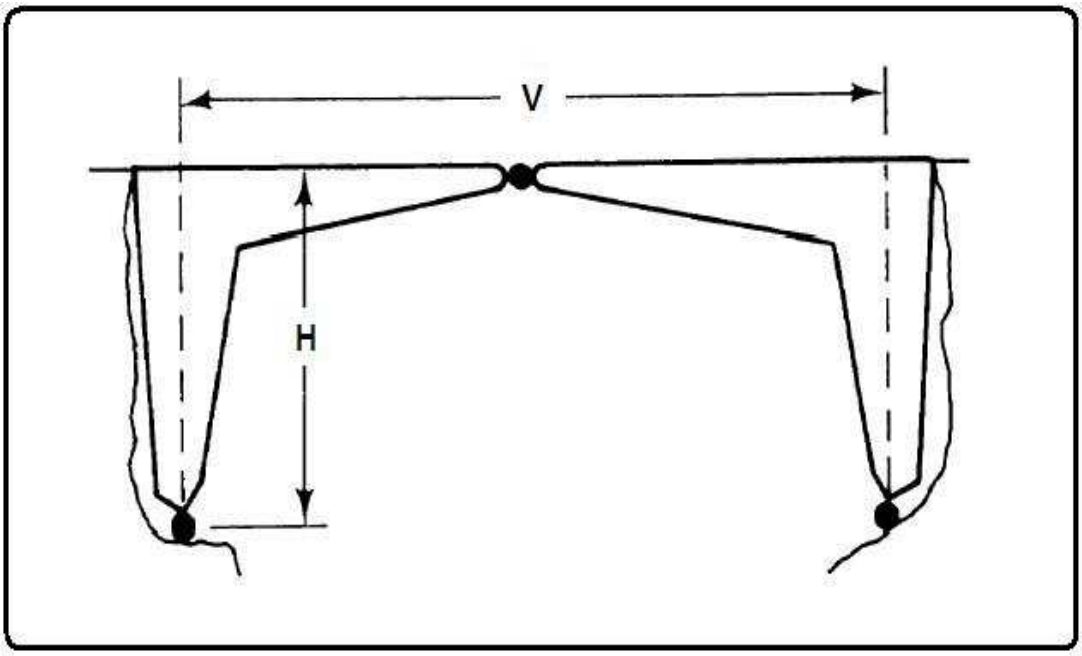


Fig 6-35. Medidas de uma ponte de lance contínuo

(3) Determine o método de abordagem (Anexo O).

(4) Determine as dimensões do vão requeridas para cálculos da carga.

c. Demolição do vão

(1) Generalidades

Do mesmo modo que as pontes de lance simples, deve-se levar em conta dois conceitos: o ponto e a linha de abordagem. A escolha deste ponto para a demolição de uma estrutura de lance contínuo será diferente para todas as categorias, porém a regra aplicada para linha de abordagem é igual para todas. Esta linha deve ser paralela às linhas dos encontros, atentando para que não ocorram torções em sua estrutura durante o colapso. Se esta linha estiver posicionada sobre vigas transversais, esta deverá ser reposicionada de modo a estar entre estas vigas. A Tabela O-4 do Anexo O lista os métodos de abordagens para todas as categorias.

(2) Métodos de demolição para cada categoria de ponte

(a) Pontes de aço – para demolição destas estruturas deve-se utilizar o mecanismo de colapso tipo “gangorra” ou “vão sem suporte”. Ambas as abordagens produzem um corte completo de sua extensão. A demolição pode ser feita em apenas uma etapa, desde que se instale corretamente as cargas de demolição. Entretanto, nas superestruturas de grande espessura (tabuleiro de concreto sobre vigas de aço) as cargas inicialmente planejadas podem não cortar totalmente o aço das vigas. Por esta razão, durante o reconhecimento, deve-se sempre planejar, para este caso, a possibilidade da demolição ser realizada em duas etapas. Deve-

se executar um corte de aproximadamente 70° em relação à horizontal a fim de impedir que a ponte engate durante a queda.

(b) Pontes de concreto - as pontes de concreto de lance contínuo são as mais difíceis de demolir. Mesmo possuindo o projeto de construção e dispondo de um grande tempo de preparação, as demolições em uma etapa são raramente bem sucedidas. As abordagens inferiores são as mais eficientes.

(c) Ponte em arco e quadro rígido – as pontes que possuem base articular podem ser destruídas removendo apenas um comprimento mínimo necessário do lance. Determine este comprimento necessário (V_N) usando a tabela 6-1, usando os valores de V e de H encontrados no reconhecimento.

H/V	0,040	0,060	0,080	0,100	0,120	0,140	0,160	0,180	0,200
V_N/V	0,003	0,007	0,013	0,020	0,030	0,040	0,053	0,067	0,083
H/V	0,220	0,240	0,260	0,280	0,300	0,320	0,340	0,360	
V_N/V	0,100	0,130	0,150	0,170	0,200	0,230	0,270	0,300	

OBSERVAÇÕES:

1. Os valores na tabela são baseados na seguinte fórmula: $V_N/V = 1 - [1-4(H/V)^2]^{1/2}$

2. Se não encontrar o valor exato de H/V, aproxime para mais.

Ex.: Se H/V = 0,089, aproxime para 0,100 e encontre 0,220 para o valor de V_N/V

3. Multiplique o valor encontrado V_N/V por L para achar V_N

Ex.: Se V = 50 m, então V_N = 0,220 x 50 = 11 m

Tab 6-1 – Valores para o comprimento mínimo específico (V_R)

6. MÉTODOS DE DEMOLIÇÃO DE PONTES MISTAS

a. Pontes Pênseis

(1) Generalidades

Normalmente essas pontes atravessam largas aberturas. Possuem duas características distintas: tabuleiro suportado por tirantes flexíveis (geralmente cabos de aço) e vãos longos (Fig 6-36).

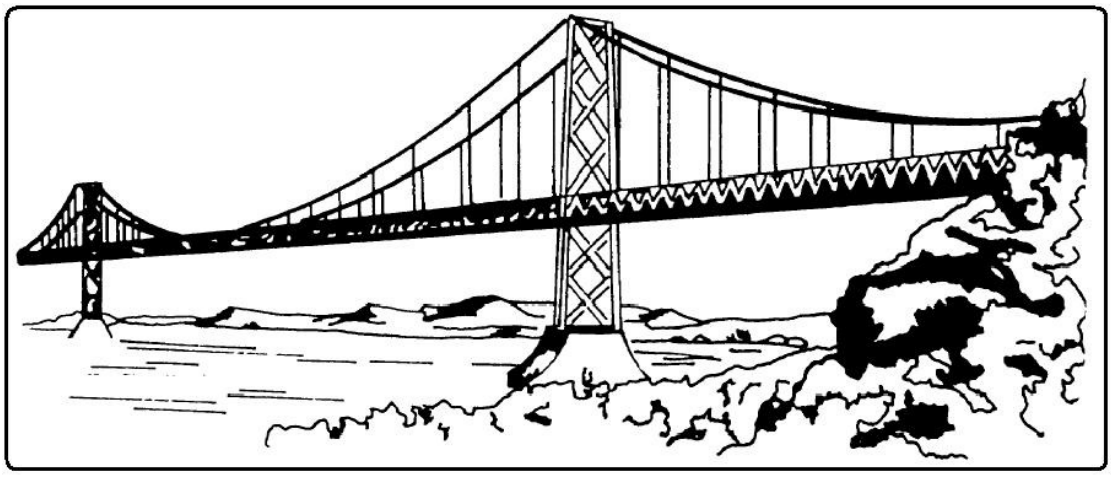


Fig 6-36. Ponte pênsil

(2) Componentes

(a) Cabos principais - são geralmente compostos por vários feixes de cabos de aço que passam sobre o topo das torres e são ancorados em pontos de ancoragem nos encontros. Eles suportam, por meio dos tirantes, todo o peso de carga da ponte. A ponte "Golden Gate" nos EUA possui mais de 200.000 km de cabos de aço em seu cabo principal.

(b) Tirantes - são cabos mais finos que ligam o cabo principal ao tabuleiro, suportando por esforço de tração o tabuleiro da ponte.

(c) Torres - as torres suportam os cabos principais dando a forma característica desse tipo de ponte. Podem ser construídas com aço, concreto, alvenaria ou com a combinação destes materiais.

(d) Treliças ou vigas - não suportam diretamente a carga; fornecem somente a rigidez do tabuleiro.

(e) Ponto de ancoragem - fixam os cabos principais nos encontros da ponte. Podem ter mais de 300 m^3 de volume.

(3) Métodos de demolição

(a) Pontes extensas

Os pontos de ancoragem normalmente são construídos em concreto e possuem uma grande massa, o que impossibilita sua destruição. Os cabos principais, geralmente, são grossos demais para serem cortados eficazmente com explosivos. O método mais econômico para realizar a demolição de uma ponte pênsil extensa consiste em derrubar os vãos de aproximação, isto é, as extensões em contato com os encontros, ou uma seção do tabuleiro, cortando os tirantes dos cabos principais. A capacidade de reparo e construção de ponte pelo inimigo determina o comprimento do vão a ser destruído. Caso as torres sejam feitas de concreto armado, pode ser exequível a colocação de cargas de ruptura para romper o concreto.

(b) Pontes pequenas

Os dois pontos vulneráveis em pontes pênseis pequenas são as torres e os cabos. Os seguintes métodos serão utilizados para sua demolição:

1) Torres – destruição das torres colocando cargas de ruptura ligeiramente acima do nível do tabuleiro, de maneira que corte os dois pilares de cada torre. As cargas devem ser posicionadas de modo que forcem as extremidades do corte (pilares) a moverem-se em sentidos opostos, torcendo a torre, impedindo assim que alguma parte desta permaneça intacta. Em algumas pontes mais modernas, existem câmaras de demolição, que são alojamentos especialmente construídos para este fim e que tornam a demolição mais rápida e eficaz.

2) Cabos - destruição dos cabos principais colocando as cargas mais perto possível dos pontos de ancoragem, como os do topo das torres. Estes cabos são difíceis de cortar por causa do espaço existente entre os fios individuais. Assegure-se que a extensão da carga seja maior que metade da circunferência do cabo. As cargas fitas, utilizando explosivos plásticos, são muito eficazes para este corte.

b. Pontes móveis

(1) Generalidades

Essas pontes possuem um ou mais vãos que se movimentam para permitir tráfego de grandes embarcações no canal. Os três tipos básicos de pontes móveis são: giratória, basculante e suspensão-vertical. As características destas pontes serão descritas nos parágrafos seguintes.

(2) Tipos

(a) Pontes giratórias (Fig 6-37)

1) Características - toda estrutura giratória é apoiada em um pilar central, que por intermédio de mecanismos, gira sobre este, permitindo assim a passagem de grandes barcos pelas laterais. Se os braços da extensão giratória não são iguais, pesos são adicionados para se manter o equilíbrio. Os roletes deste lance giram em um trilho circular posicionado no pilar central e fornecer sustentação para todo o peso do vão. A extensão giratória é totalmente independente dos outros vãos. O pilar central desse tipo de ponte é bem mais largo que os outros, pois sustentam todos os mecanismos de giro do vão, facilitando sua identificação.

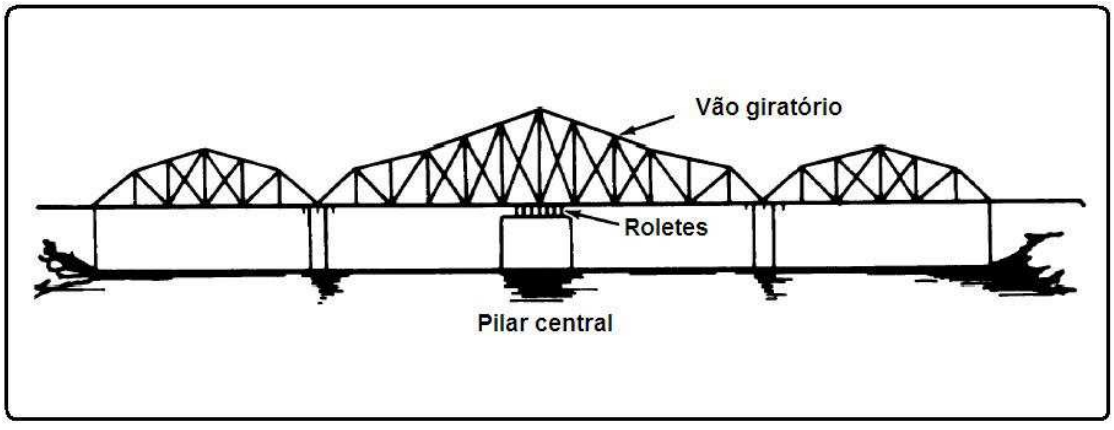


Fig 6-37. Ponte pênsil

2) Métodos de demolição – as pontes giratórias são consideradas para fins de demolição como uma ponte de lance contínuo. Dessa forma o método de abordagem que será utilizado será o que mais se adéque as características da

ponte (aço, concreto etc). Uma demolição parcial pode ser realizada abrindo totalmente o vão giratório, como se fosse passar uma embarcação, e danificando seu mecanismo de giro (roletes, trilho etc).

(b) Pontes basculantes (Fig 6-37)

1) Características – estas pontes também são conhecidas como pontes levadiças. Normalmente possuem uma (Fig 6-38) ou duas folhas (Fig 6-39) que se dobram para cima. São de três tipos: contrapesos abaixo do nível da estrada (mais modernas) (Fig 6-39), contrapesos acima do nível da estrada (mais antigas) e nenhum contrapeso (levantados por cabo; mais antigas; geralmente de madeira) (Fig 6-38).

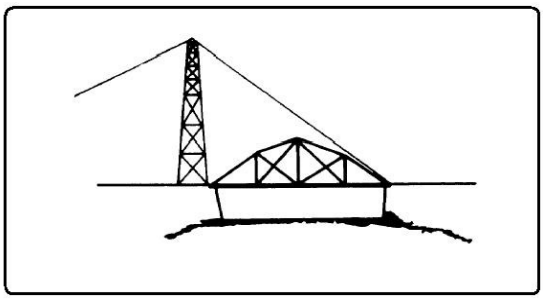


Fig 6-38 – Ponte basculante (1 folha)

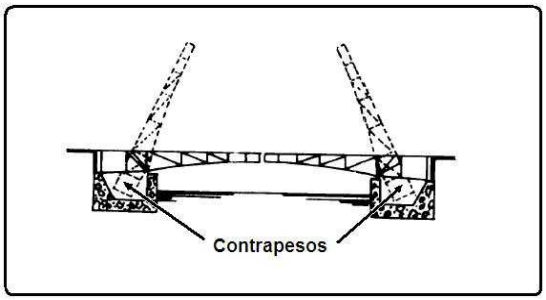


Fig 6-39 – Ponte basculante (2 folhas

2) Métodos de Demolição – destruição dos lances em balanço escolhendo um método de abordagem para pontes de lance simples. Para uma demolição parcial, deve-se abrir totalmente as extensões móveis e dessa forma, atolar ou destruir o mecanismo elevatório.

(b) Pontes de suspensão-vertical

1) Características - essas pontes possuem extensões de lance simples móveis, que são levantados na posição horizontal e paralela ao curso d'água. Estas extensões são suportadas por cabos que passam por roletes e são conectadas a contrapesos grandes e móveis. Este sistema de elevação é montado em torres normalmente dispostas nas extremidades do vão (Fig 6-40).

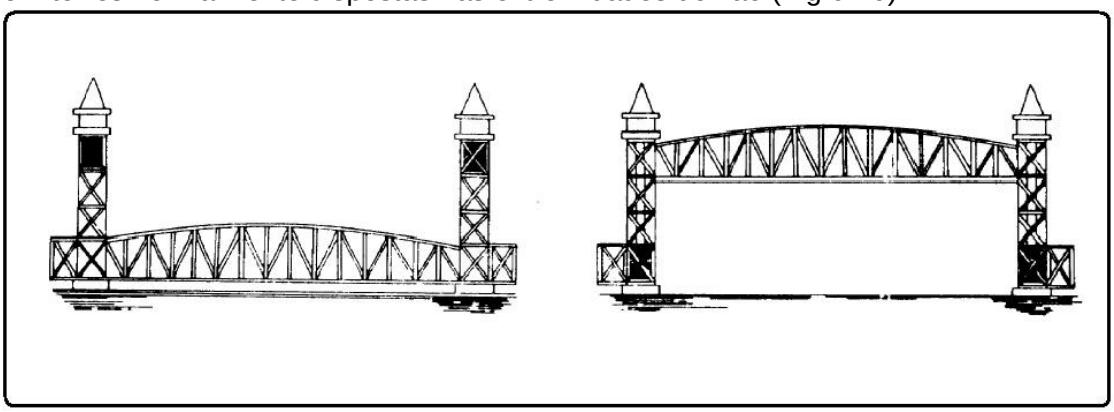


Fig 6-40. Ponte de suspensão-vertical

2) Métodos de demolição – destruição do lance móvel utilizando o mesmo método de abordagem para pontes de lance simples. Outro método é elevar totalmente a ponte e cortar o cabo de elevação do vão somente de um lado. A

extensão móvel travará entre as duas torres ou simplesmente cairá danificando severamente a outra torre.

c. Pontes flutuantes (Fig 6-41)

(1) Generalidades

Esse tipo de ponte possui uma via de lance contínuo, de metal ou madeira, suportada por flutuadores ou pontões.

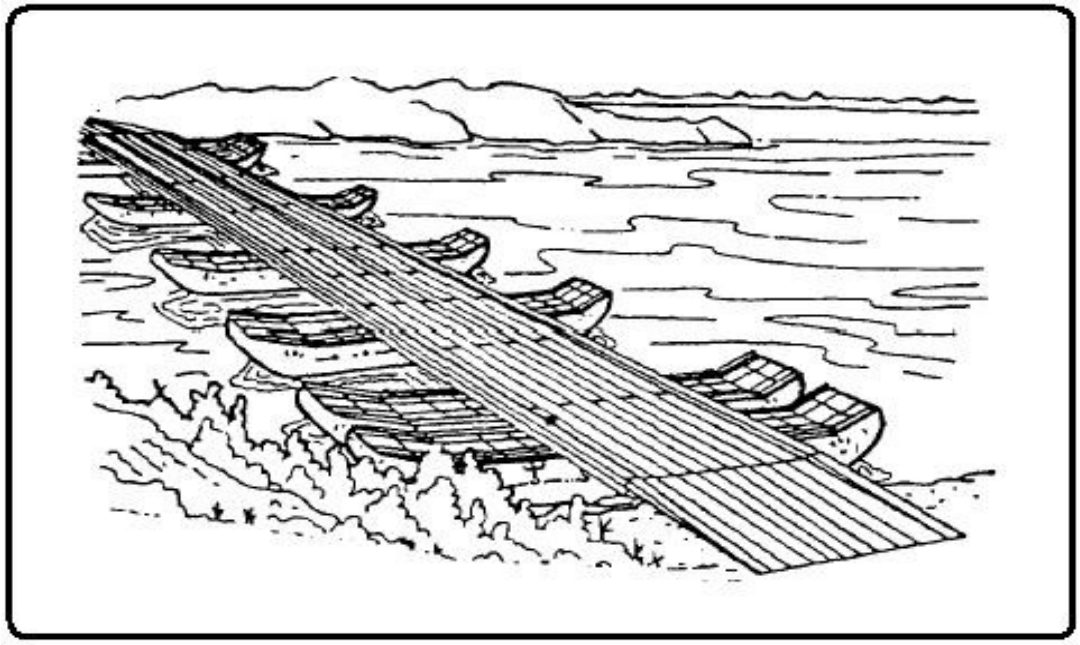


Fig 6-41. Ponte de suspensão-vertical

(2) Tipos

(a) Flutuadores pneumáticos – possuem compartimentos herméticos de borracha inflados com ar. Para uma rápida demolição, deve-se cortar os cabos de ancoragem e tirantes com machados e os cabos de aço (cabo-guia) com explosivos. Os flutuadores serão furados com objetos pontiagudos ou armas de fogo. Quando utilizar-se de armas de fogo, será necessária uma elevada quantidade de munição, pois cada flutuador possui um grande número compartimentos estanques. Outro método de demolição para este tipo de ponte consiste em abrir um corte transversal no flutuador, esticando uma linha cordel detonante ao redor dos compartimentos. Uma volta de cordel é necessária para cortar a maioria dos flutuadores existentes, porém em determinados tipos de flutuadores (mais grossos) ,deve-se usar pelo menos duas voltas. Deve-se executar, por meio de uma ramificação, uma volta de cordel ao redor de cada válvula de enchimento. Isto impedirá que o flutuador venha ser inflado novamente, caso este seja reparado**.** Não se deve utilizar o cordel da linha principal para cortar as válvulas, pois as ondas de choque podem cortar a linha após passar por esta volta acentuada.

(b) Pontões rígidos - os pontões rígidos podem ser constituídos de vários materiais: madeira, plástico ou metal. Para destruí-lo, serão colocados 250 gramas de explosivo (preferencialmente o TNT) na extremidade a montante de cada pontão sobre a linha d'água. Todas as cargas devem detonar simultaneamente. Se a correnteza do rio for rápida (maior que 1,5 m/s), os tirantes podem ser cortados de modo que a ponte seja carregada rio abaixo. Para destruir o metal do piso de

rolamento, use a fórmula para cortar aço (Capítulo 5). A posição e o tamanho das cargas dependerão do tipo da ponte. Normalmente, colocando-se as cargas em cada junção do piso de rolamento deixará a ponte fora de uso.

d. Pontes Bailey

(1) Generalidades

Para destruir esse tipo de ponte, cargas de 500 gramas serão colocadas entre as canaletas das vigas superior e inferior. Deve-se instalar também, cargas de 250 gramas nas canaletas das vigas diagonais e 500g em cada contraventamento diagonal (Fig 6-42)

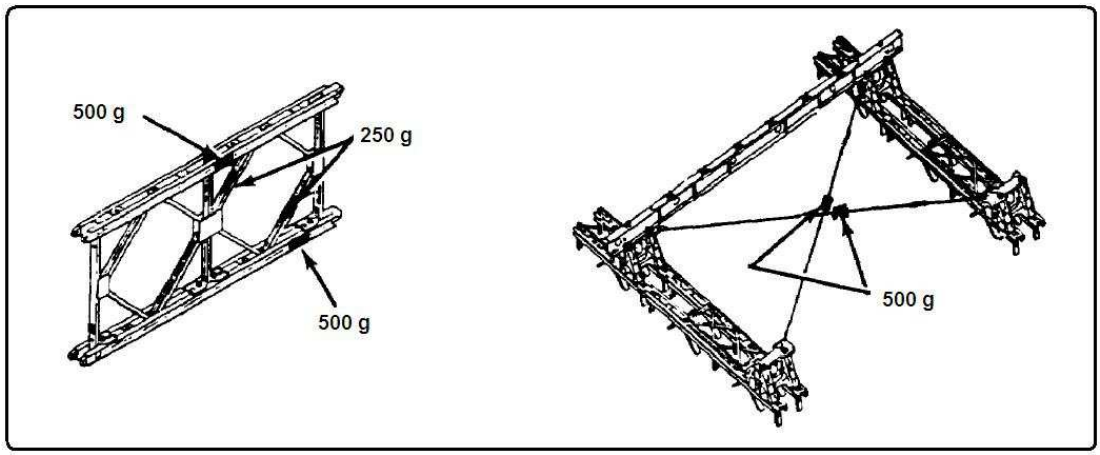


Fig 6-42. Ponte de suspensão-vertical

(2) Métodos de demolição

(a) Pontes construídas – a ponte deverá ser cortada em diversas seções destruindo os painéis em cada um dos lados, incluindo o contraventamento diagonal. O ângulo de abordagem deve ser de 10 graus em relação à horizontal para impedir o engate. Nas pontes com dois ou três andares, as cargas devem ser aumentadas nas vigas de junção entre os andares. Para uma demolição mais eficiente, as travessas e os estrados de vigas podem ser destruídos.

(b) Pontes armazenadas ou no canteiro de trabalho - destruição dos componentes que o inimigo possa utilizar na construção ou improvisação de pontes. A destruição será realizada danificando elementos essenciais que não possam ser facilmente substituídos ou construídos, como os painéis. Para inutilizá-lo, o engate fêmea da viga inferior deve ser removido ou empenado. Todos os painéis devem ser destruídos antes dos outros componentes.

7. MÉTODOS DE DEMOLIÇÃO DE ENCONTROS E SUPORTES INTERMEDIÁRIOS

a. Encontros

(1) Generalidades

A demolição dos encontros de uma ponte consiste na colocação de cargas no enchimento atrás dos encontros. Este método utilizará menos explosivos do que a utilização de cargas de ruptura externas e ainda possibilitará o ocultamento da demolição para o inimigo. A principal desvantagem é a dificuldade na preparação das cargas. Se houver premência de tempo, este método não deverá ser utilizado caso existam grandes pedaços de rocha no enchimento dos encontros, pois dificultarão sobremaneira o trabalho de escavação.

(2) Demolição dos encontros

(a) Encontro com menos de 1,5 metros de espessura (Fig 6-43)

Instale cargas de 18 kg de nitrato de amônio, espaçadas de centro a centro de 1,5 metros, com profundidade também de 1,5 metros e posicionadas nos mesmos 1,5 metros da face do encontro. Cave o primeiro furo a 1,5 metros da extremidade e continue nesse espaçamento até que o último furo diste a mesma distância da outra extremidade do encontro. Se o acesso da ponte for íngreme, posicione as cargas em contato com a parte interna do encontro. Determine o número de cargas pela seguinte fórmula:

$$N = \frac{L}{1,5} - 1$$

Onde, N = número de cargas de 18 kg de nitrato de amônio; arredonde para ao número inteiro maior.

L = largura do encontro, em metros.

(b) Encontro maior ou igual a 1,5 metros de espessura

Destrua esses limites instalando as cargas em contato com a parte interna do encontro (face voltada para o acesso). Calcule a quantidade de cada carga usando a fórmula de carga de ruptura (Capítulo 5). Utilize a espessura do encontro como raio de ruptura (R). Determine o número de cargas e a distância entre elas usando a fórmula da quantidade de cargas de ruptura. As cargas devem estar a pelo menos 1(um) metro de profundidade a contar do apoio da ponte (onde a superestrutura da ponte apoia o encontro).

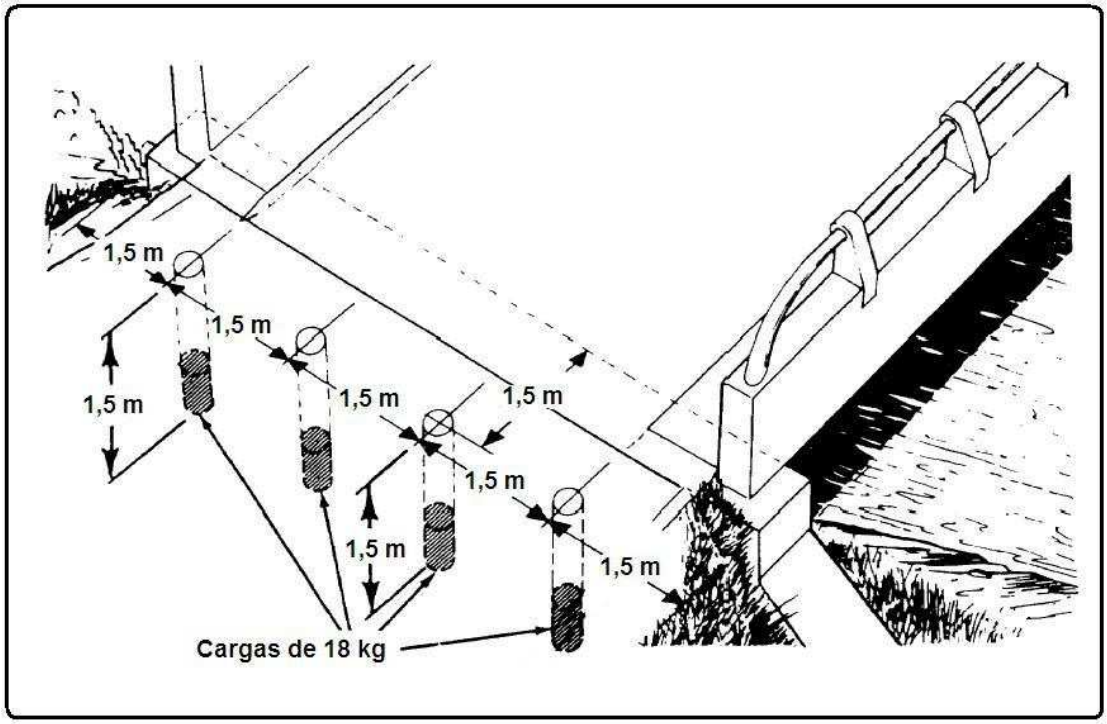


Fig 6-43. Demolição de encontros com menos de 1,5 metros de espessura

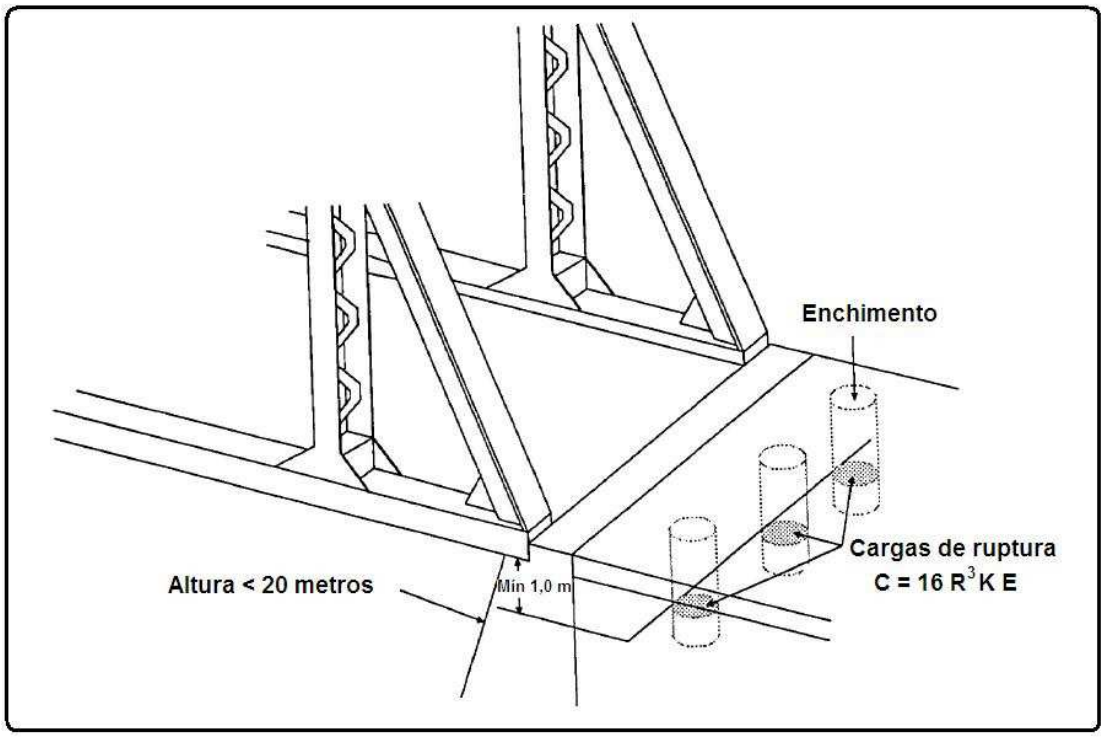


Fig 6-44. Demolição de encontro maior ou igual que 1,5 metros de espessura

(c) Encontros com altura maior que 6 metros

Destrua esse tipo de encontro colocando uma linha de cargas de ruptura na base da face do encontro voltada para o vão em adição às cargas especificadas no subparágrafo (a) deste parágrafo (6-7). Detone todas as cargas simultaneamente. Este método faz o encontro girar, destruindo-o completamente.

(d) Encontro com alas

Se as paredes das alas puderem suportar uma ponte reconstruída ou provisória, destrua suas paredes colocando as cargas na parte interna do mesmo modo que nos encontros.

b. Suportes intermediários (Fig 6-45)

(1) Generalidades

Realize a destruição dos pilares de concreto e alvenaria com cargas internas ou externas.

(2) Métodos de demolição

(a) Cargas internas - essas cargas requerem menos explosivos que as cargas externas. Entretanto, caso os pilares não possuam câmaras internas de demolição (existente em algumas pontes modernas; são alojamentos especialmente construídos para este fim e que tornam a demolição mais rápida e eficaz), esse método exigirá uma quantidade excessiva de tempo de preparação e material. Use as fórmulas de carga de ruptura para determinar a quantidade de explosivo necessária para a demolição. O explosivo mais indicado para esse tipo é o C4. Tampone completamente todas as cargas utilizando ferramentas anti-faísca (varas de madeira ou similares). Posicione as cargas em buracos criados com as cargas dirigidas ou perfurados com ferramentas pneumáticas ou manuais. Um furo de 5 (cinco) centímetros de diâmetro comporta aproximadamente 1(um) quilo de explosivo para cada 30 centímetros de profundidade. As estruturas metálicas dos pilares podem dificultar ou mesmo impedir o trabalho de perfuração.

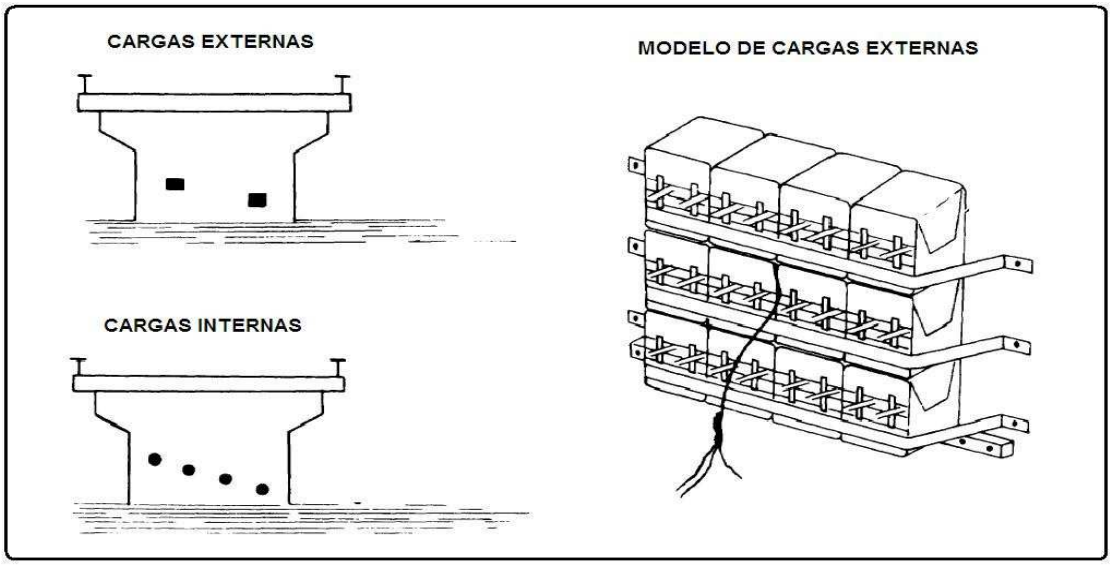


Fig 6-45. Posicionamento de cargas para demolição de pilares de ponte

(b) Cargas externas - posicione essas cargas na base do pilar ou em um ponto mais elevado, cuidando para que o espaço entre elas não seja maior que duas vezes o raio de ruptura. Escalone as cargas para deixar uma superfície recortada que impeça o uso futuro. Tampone completamente todas as cargas externas com terra e sacos de areia, se o tempo, o tamanho, a forma e a posição das cargas permitirem fazer isso.

Conteúdo extraído dos seguintes manuais:

- BRASIL. Estado-Maior do Exército. **C 5-25: Explosivos e destruições**. 2ª Ed. Brasília: EGGCF, 1991.

- BRASIL. Estado-Maior do Exército. **C 5-34: Vade-Mécum de Engenharia**. 3ª Ed. Brasília: EGGCF, 1996.
- BRASIL. Estado-Maior do Exército. **T 5-277: Ponte de Painéis Tipo Bailey-M2- Parte 1**. 1 ed. Brasília: EGGCF, 1979.
- BRASIL. Diretoria de Material de Engenharia. **Boletim Técnico Especial Nr 4: Normas de emprego e manuseio de cargas explosivas e dispositivos acionadores**. Brasília, 1983.
- BRASIL. Academia Militar das Agulhas Negras. **Apostila de explosivos e destruições do Curso Avançado**. Editora acadêmica.
- BRASIL. Academia Militar das Agulhas Negras. **Vade-Mécum de OT do Curso de Engenharia**. Editora Acadêmica.
- BRASIL. Academia Militar das Agulhas Negras. **Apostila de Explosivos e destruições do Curso de Engenharia**. Editora acadêmica.
- ATHAYDE, ALCIO AUGUSTO CARPES. **Instruções sobre desmonte de rocha no Instituto Militar de Engenharia**. Instituto Militar de Engenharia, 2008.

CAPÍTULO 7
DESMONTE DE ROCHA

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

a. O desmonte de rocha e de minerais é efetuado quase exclusivamente com o auxílio de explosivos.

b. As técnicas para executá-lo se apoiam no desenvolvimento, a partir da década de 50, de um grande número de fórmulas e métodos envolvendo variáveis tais como: características dos explosivos e dos maciços rochosos, diâmetro, afastamento e espaçamento dos furos etc.

c. São regras simples que permitem uma primeira aproximação do desenho dos desmontes e do cálculo das cargas, mas que, devido a grande heterogeneidade das rochas, não eliminam os ajustes por tentativas, até alcançar os resultados que consagrem um ótimo desmonte.

2. MECANISMO DE RUPTURA DA ROCHA

a. Generalidades

(1) A ruptura da rocha se dá por ação de dois efeitos gerados pela detonação do explosivo:

(a) Onda de choque; e

(b) Pressão gerada pela expansão dos gases da reação.

(2) Esses efeitos se desenvolvem em duas fases:

(a) Uma fase dinâmica, por ação das ondas de choque, onde ocorre a fratura (fragmentação) da rocha; e

(b) Uma fase semiestática, causada pela pressão dos gases, onde ocorre o arremesso da rocha.

b. Fase dinâmica (fragmentação)

(1) Fase 1 – Trituração da rocha (esmagamento) (Fig 7-1)

(a) É iniciada com a detonação do explosivo por efeito de um detonador, gerando as ondas de choque e tendo duração de um milissegundo.

(b) A forma geométrica da onda de choque depende de fatores como a localização do ponto de iniciação e a velocidade de detonação.

(c) Nos desmontes de rocha onde a relação comprimento (L) e o diâmetro (d) da carga é $L / d > 6$, as ondas de choque são cilíndricas.

(d) A energia transmitida ao maciço na forma de uma onda de compressão (onda de choque) de forma cilíndrica supera a resistência à compressão da rocha destruindo sua estrutura.

(e) Devido a esta ação inicial o diâmetro do furo aumenta até três vezes a dimensão original.

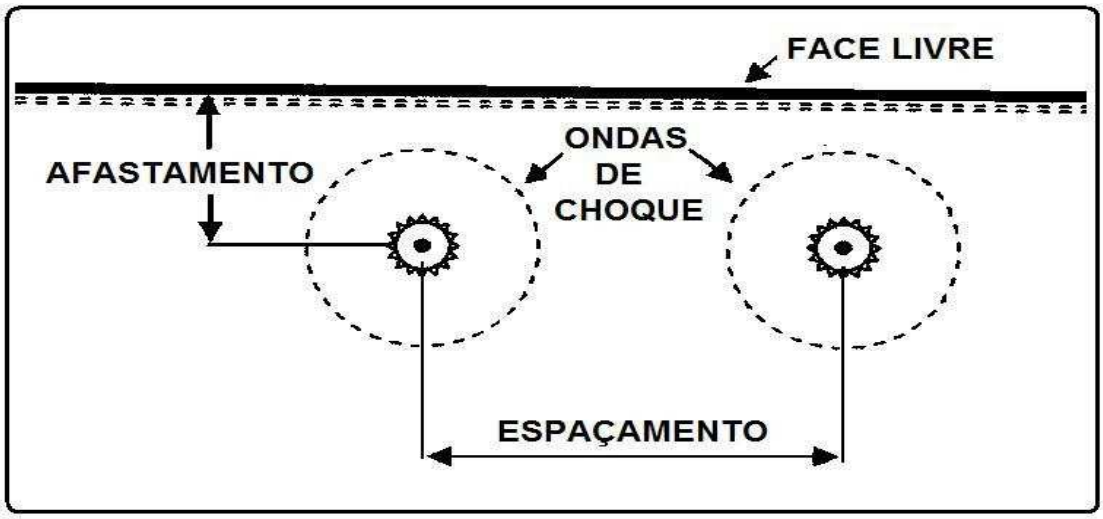


Fig 7-1. Fase 1 – Trituração da rocha (Esmagamento)

(2) Fase 2 – Zona de intenso fraturamento (Fig 7-2)

(a) As ondas de choque se propagam em ondas concêntricas no maciço circundante ao furo, que é submetido à intensa força de compressão na direção normal da propagação e induzindo componentes tangenciais iniciando fraturas no material.

(b) Quando as ondas radiais encontram a face livre, parte da onda é refratada e a maior parte é refletida na forma de ondas de tração na direção da origem das ondas, estendendo as fraturas pré-existentes.

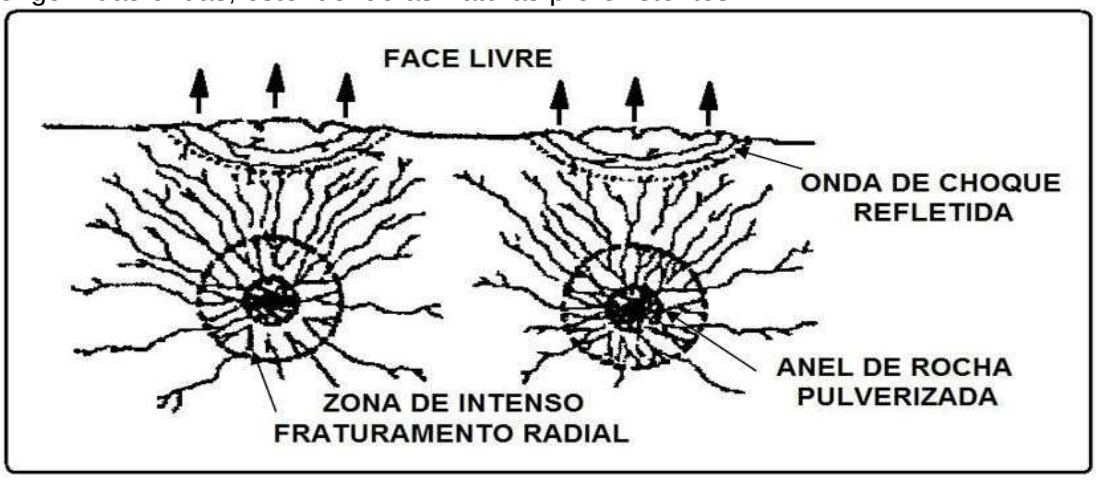


Fig 7-2. Fase 2 – Zona de intenso fraturamento

c. Fase semi-dinâmica (lançamento)

(1) Fase 3 – Extensão das fendas radiais pela ação dos gases (Fig 7-3)

Durante e depois da formação das fendas radiais, os gases começam a se expandir e a penetrar nas fraturas radiais e, após, pelas tangenciais, prolongando as mesmas e gerando uma zona de fraturamento moderado.

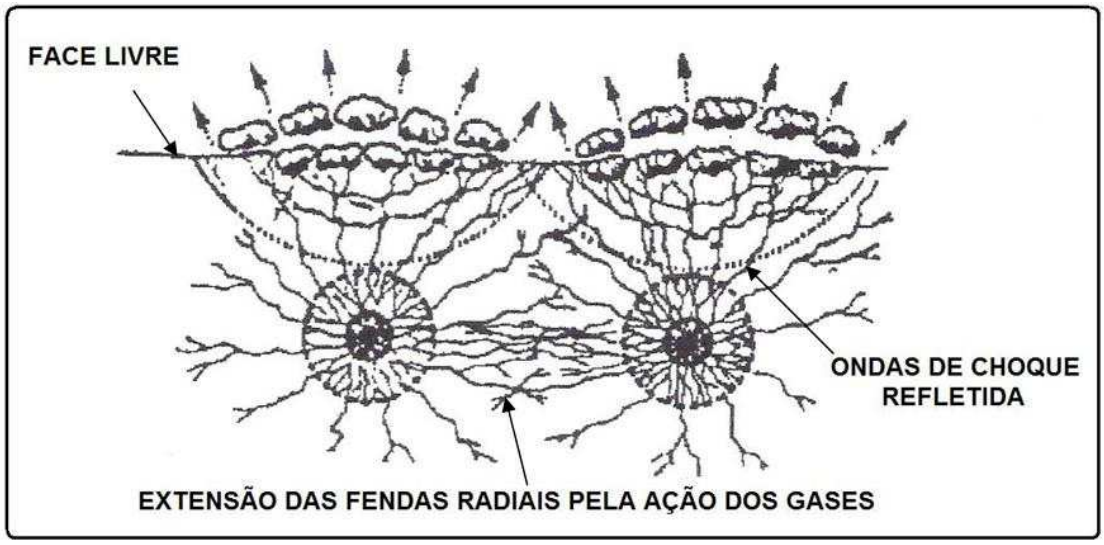


Fig 7-3. Fase 3 – Extensão das fendas radiais pela ação dos gases

(2) Fase 4 – Fase de projeção da rocha (Fig 7-4)

(a) Os gases separam os blocos pela pressão exercida, fazendo com que a rocha atue como uma viga, produzindo a deformação e fraturamento pelos fenômenos de flexão.

(b) Inicia-se então a fase de arremesso, com os gases impulsionando o maciço fragmentado.

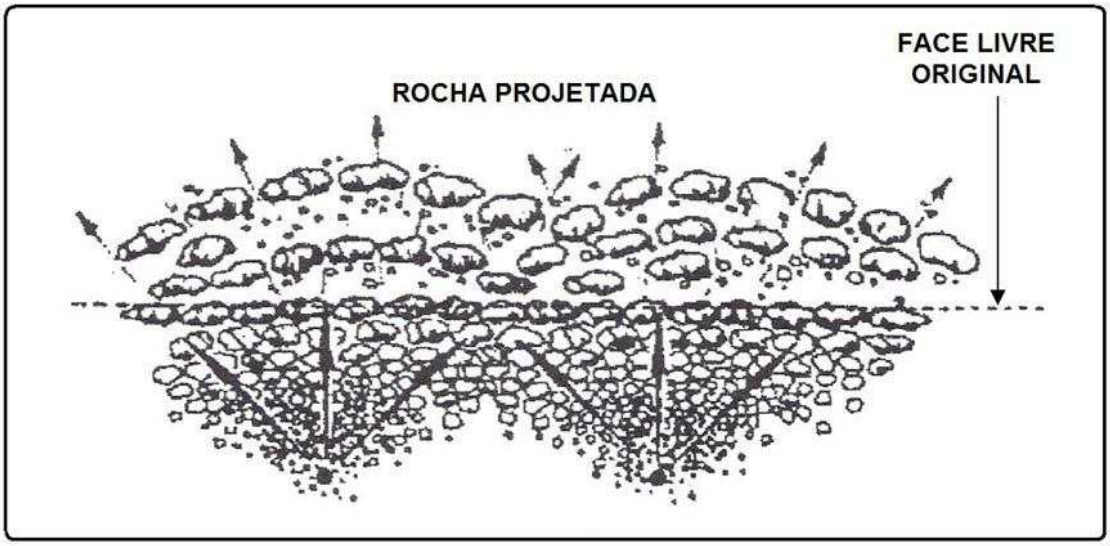


Fig 7-4. Fase 4 – Fase de projeção da rocha

(3) Fase 5 – Fragmentação por colisão (Fig 7-5)

(a) É reduzida a intensidade das ondas de choque e as tensões não mais superam os limites da rocha, não ocorrendo mais fraturas.

(b) Dessa forma, ocorre a fragmentação pelo choque no ar entre as pedras.

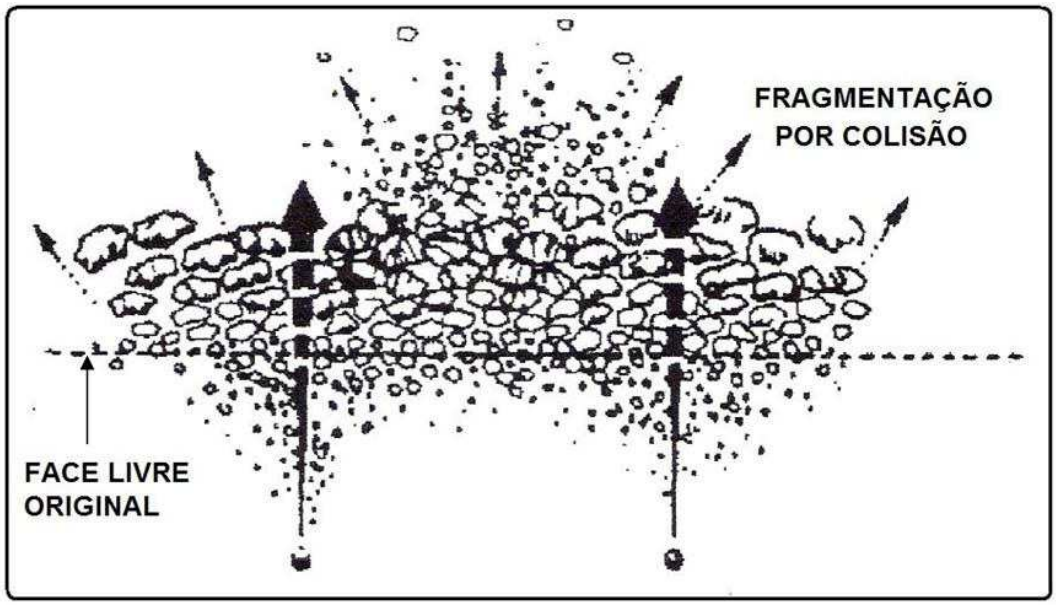


Fig 7-5. Fase 5 – Fragmentação por colisão

d. Tempo de movimentação da rocha

De acordo com o Laboratório de testes da FPV-IMBEL, o fenômeno do desmonte de rocha por ação dos explosivos ocorre nos seguintes períodos de tempo:

- Entre 3 a 4 milissegundos: ocorrem as primeiras fendas, após o inicio da detonação do explosivo;

- Após 5 a10 milissegundos: o material começa a se desprender;

- Entre 30 a 40 milissegundos: fendas mais largas ocorrem e o material do maciço remanescente começa a se mover; e

- Após 60 a 80 milissegundos: toda a rocha se desprende gradualmente.

3. DESMONTE DE ROCHA A CÉU ABERTO

a. Generalidades

(1) O desmonte de rocha a céu aberto com a finalidade de corte de rodovias e ferrovias, exploração de pedreiras, minerações, construção de hidroelétricas etc, é realizado através de “bancadas”.

(2) A execução do desmonte envolve as seguintes etapas:

(a) Perfurar o maciço rochoso;

(b) Introduzir explosivos nos furos;

(c) Detonar o explosivo; e

(d) Remover o material detonado.

(3) Os fatores críticos de sucesso para alcançar um objetivo proposto de forma correta são os seguintes:

(a) Fragmentação suficiente;

(b) Deslocamento, movimentação e lançamento da pilha adequados;

(c) Redução dos efeitos ambientais; e

(d) Mínimo dano ao maciço remanescente.

b. Bancadas

(1) Indica a forma mais racional a ser dada ao maciço rochoso durante o desmonte, objetivando:

(a) Conformação favorável do arrancamento de “fatias” da rocha; e

(b) Obtenção do máximo possível de “frentes livres”, facilitando a ação dos explosivos.

(2) Todos os trabalhos preparatórios devem ser conduzidos a uma rápida formação da bancada projetada e mantida dessa forma. São os fogos sucessivos que dão forma a bancada.

(3) As bancadas apresentam quatro superfícies características (Fig 7-6):

a) Praça: é o plano inferior onde se recolhe o material detonado e onde se operam os equipamentos de carga e de transporte.

(b) Face: superfície vertical ou inclinada deixada pelo desmonte.

(c) Topo: plano superior onde são abertos os furos e operam os equipamentos de perfuração.

(d) Frente – dimensões das bancadas.

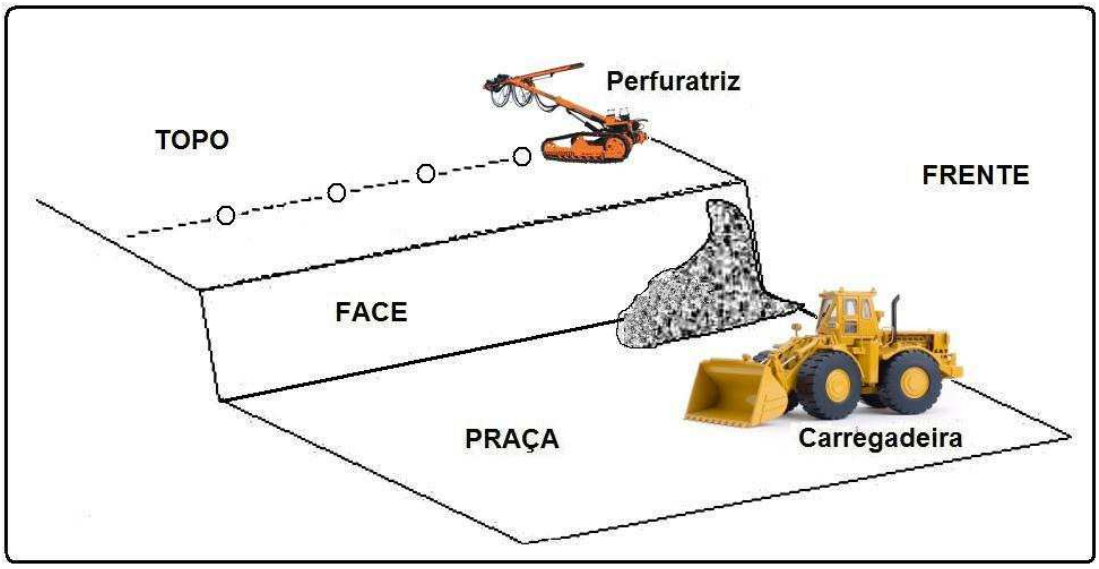


Fig 7-6. Superfícies de uma bancada

(4) Vantagens de uma bancada bem dimensionada:

(a) Serviços mais rápidos;

(b) Melhor programação dos serviços;

(c) Maior produção diária;

(d) Maior economia de tempo e nos custos; e

(e) Mais segurança nas operações.

(5) Componentes de uma bancada (Fig 7-7)

A bancada pode apresentar os seguintes componentes, resultantes ou não do desmonte. Uma bancada não necessariamente pode possuir todos esses elementos.

(a) Repé - rocha saliente na base da bancada.

(b) Cratera - boca do furo demasiadamente alargada.

(c) Rocha saliente - rocha proeminente na frente da bancada.

(d) “Over break” - sobre escavação na frente do maciço.

(e) “Back break” - sobre escavação na retaguarda da bancada.

(f) Fenda de tração - fissura alongada paralela à frente da bancada.

(g) Trincamento do maciço - fissura alongada paralela ao solo.

(h) Meia cana do furo - canaleta resultante da perfuração após a detonação da bancada.

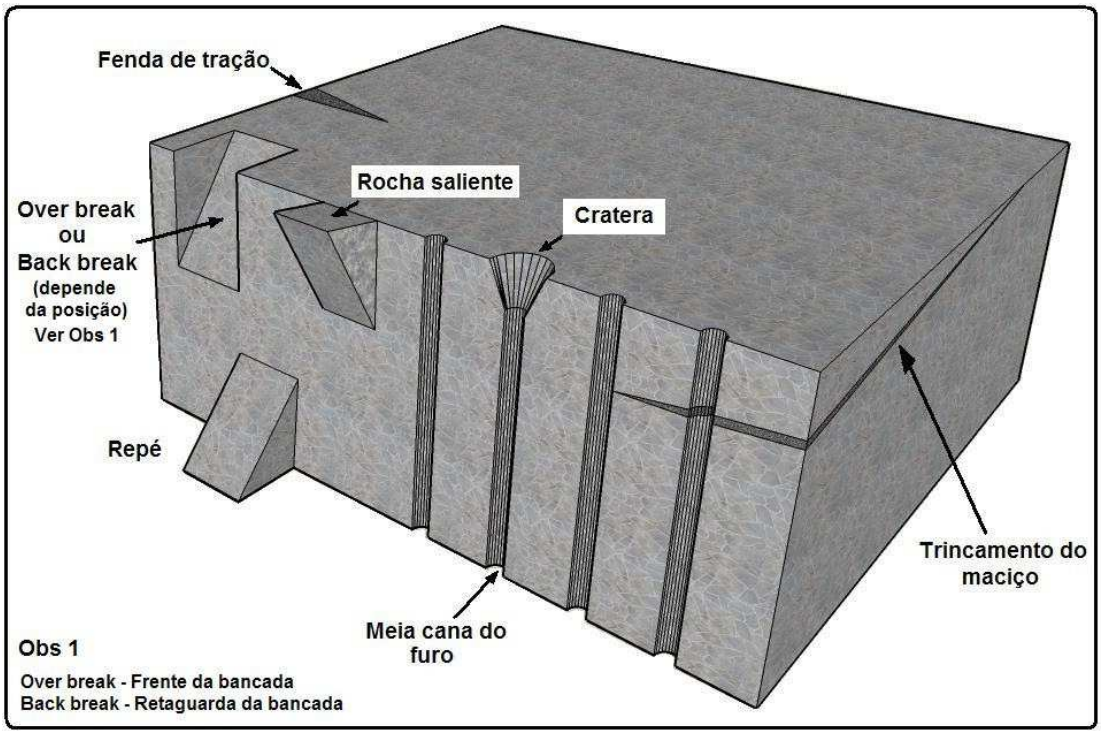


Fig 7-7. Elementos de uma bancada

4. PLANO DE FOGO PARA O DESMONTE EM ROCHA

a. Generalidades

(1) Trata-se do projeto contendo as informações necessárias ao desmonte da bancada e envolve técnica e experiência.

(2) Em síntese significa o cálculo e a determinação dos diferentes elementos de uma bancada, tendo como parâmetro principal a unidade “razão de carregamento”, relação entre a quantidade do explosivo consumido e o volume de rocha arrancada.

b. Elementos de um plano de fogo

Um plano de fogo bem caracterizado precisa definir:

(1) diâmetro dos furos (D);
(2) altura da bancada (H_B);
(3) afastamento (A);
(4) espaçamento (E);
(5) relação afastamento x espaçamento;
(6) sub-furação (S);
(7) inclinação dos furos (α);
(8) comprimento(profundidade) dos furos (H_f);
(9) tampão(T);
(10) volume da rocha por furo (V_F);
(11) razão de carregamento
(12) razão linear de carregamento;
(13) altura, densidade e quantidade de explosivos da carga de fundo;
(14) altura e densidade da carga de coluna;
(15) frente de trabalho;
(16) números de furos (número de espaçamentos)
(17) escolha do explosivo e seus efeitos;
(18) carga total e carga por furos de explosivos;
(19) retardos;
(20) sequência de detonação dos furos; e
(21) acessórios de detonação.

c. Definição dos elementos de um plano de fogo

(1) Diâmetro dos furos (D)

(a) Definição

O diâmetro do furo é em função do diâmetro da broca de perfuração.

(b) Considerações:

1) A escolha do diâmetro de furação está relacionada ao equipamento de perfuração e depende dos seguintes fatores:

a) volume da produção desejada;

b) altura da bancada;

c) tipo do equipamento de escavação / carregamento;

d) resistência da rocha; e

e) granulometria desejada.

2) Na prática, quanto maior o diâmetro da furação, maior poderá ser a altura do furo e a quantidade de explosivos utilizados e consequentemente maior será a produção. Portanto, a escolha do diâmetro do furo é orientada pela necessidade de produção, sendo uma decisão estratégica.

(c) Fórmulas utilizadas:

1) Baseado no tipo de atividade (Tab 7-1):

Tipo de desmonte	Diâmetro do furo (Polegadas)
Pequenos desmontes ou restrições à vibração	1” a 2,5”
Desmontes maiores (pedreiras)	1,5” a 4,0”
Grandes minerações e desmontes	4” a 10”

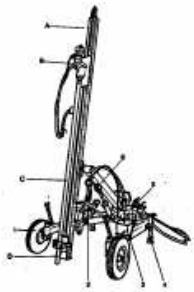
Tab 7-1. Diâmetro do furo em função do tipo de desmonte

2) Baseado no tipo de equipamento:

a) Carregadeira

Diâmetro do furo (pol.) = volume da caçamba (jardas^3)

b) Equipamentos de perfuração (Tab 7-2)

Tipo de equipamento	Diâmetro de perfuração (Polegadas)	Exemplo (foto)
Perfuratriz manual	Até 1 ¼	
Bencher	Até 1 ¼	
Wagon drill	De 1 ½ a 2 ½	
Perfuratriz sobre trator	De 2 a 5	
Conjunto de perfuração	De 4 a 11	

Tab 7-2. Diâmetro do furo em função do equipamento de perfuração

(2) Altura da bancada (H_B)

(a) Definição

Distância vertical entre a praça e o topo da bancada (Fig 7-8 e 7-9).

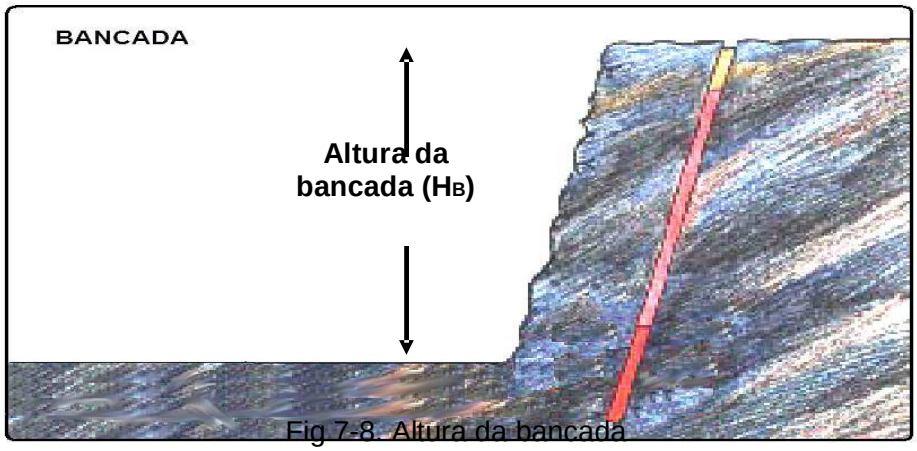


Fig 7-8. Altura da bancada

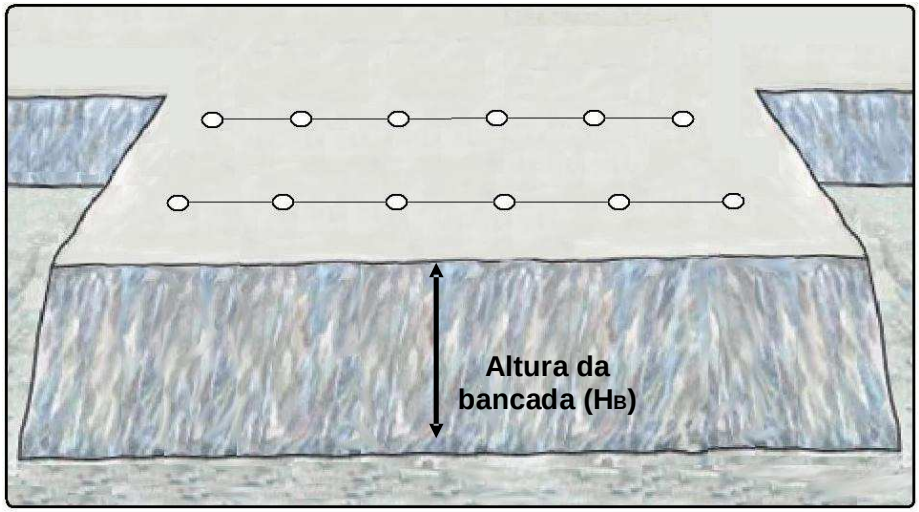


Fig 7-9. Altura da bancada

(b) Considerações

1) Definido o diâmetro do furo e o equipamento de perfuração que irá executar o trabalho, pode-se dimensionar a altura da bancada.

2) Nessa escolha deve-se considerar fatores de ordem técnica e econômica, tais como:

a) as condições de estabilidade da rocha;
b) o volume de produção desejado; e
c) o custo econômico da furação e desmonte.

3) Deve-se evitar bancadas muito altas (> 20 m), pois quanto maior a altura, maior a potência necessária ao equipamento de perfuração. Dessa forma é preferível escalonar as bancadas em menor altura.

(c) Fatores de definição

A altura da bancada depende:

1) Do equipamento (Tab 7-3)

Tipo de equipamento	Altura (Metros)	Diâmetro do furo (Polegadas)
Perfuratriz manual	Até 4 m	1 ¼"
Bencher	Até 6m	1 ¼"
Wagon drill	3 a 9 m	1 ½ a 2 ½"
Perfuratriz sobre trator, coroa normal	6 a 18 m	2 a 5"
Perfuratriz sobre trator, DTH	18 a 30 m	3 ½ a 7 "
Conjunto de perfuração	30 a 60 m	4 a 11" (ou mais)

Tab 7-3. Fator de definição da altura da bancada em função do equipamento

2) Do equipamento de carregamento:

a) Pá carregadeira: **H_B = 5 à 15m**

b) Escavadeira hidráulica: **$H_B = 4 + 0,45\ Cc$**

c) Escavadeira a cabo: **$H_B = 10 + 0,57\ (Cc - 6)$**

Sendo: H_B = altura da bancada , em metros

Cc = capacidade da caçamba (m^3)

3) Outros fatores

a) Necessidade de afiação da coroa:
Conforme a necessidade, que é medida em metros de perfuração, definem-se alturas que sejam divisores exatos daqueles, e substituir as coroas em número fixo de furos.

b) Comprimento da haste:
Definir como múltiplos inteiros do comprimento da haste.

c) Peculiaridades geológicas:
Atravessar fraturas pode travar a broca e perdê-la.

d) Acesso às bancadas:
A topografia local pode alterar a escolha da altura.

(d) Relação entre diâmetro de furação e altura da bancada (Tab 7-4):

Diâmetro do furo (Polegadas)	ALTURA DAS BANCADAS
1''	3 a 4 m
1,5''	6 a 8 m
2''	10 a 15 m
3''	12 a 17 m
4''	13 a 18 m
5''	15 a 20 m
6''	17 a 22 m
8''	20 a 25 m
10''	22 a 27 m
11''	25 a 30 m

Tab 7-4. Relação entre diâmetro de furação e altura da bancada

(e) Bancadas altas

1) Vantagens:

a) menor consumo de acessórios utilizados na ligação dos furos na superfície da bancada;

b) melhor aproveitamento da mão-de-obra de carregamento dos furos;

c) redução das perdas de tempo de paradas necessárias para evacuação, espera e retorno à área detonada; e

d) redução das perdas por deslocamento da perfuração passando de um furo para outro (furos pequenos).

2) Desvantagens:

a) precisão menor da perfuração gerando desvios e causando problemas de fragmentação e arranque do pé da bancada;

b) riscos de acidentes com o ultra lançamento;

c) altura maior da pilha do material detonado, dificultando o ciclo de carregamento;

d) redução na velocidade de perfuração;

e) ligeiro aumento na razão de carregamento; e

f) altura da bancada é também, função do equipamento de carregamento.

(3) Afastamento (A)

(a) Definição

Menor distância do furo à face livre da bancada ou de uma linha de furos a outra linha (Fig 7-10).

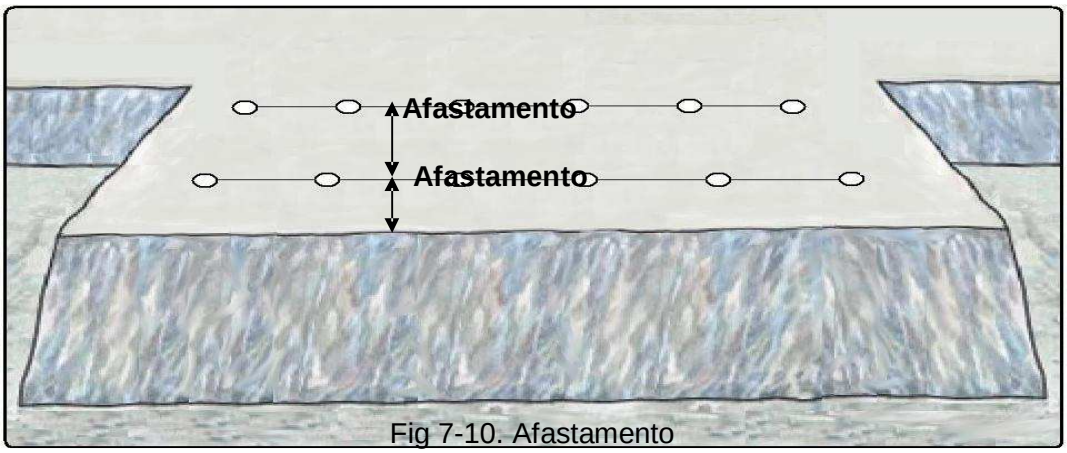


Fig 7-10. Afastamento

(b) Considerações

Efeitos causados pela variação dos afastamentos:

1) Afastamento muito pequeno - as rochas poderão ser lançadas a consideráveis distâncias da face, além da fragmentação excessivamente fina

2) Afastamento muito grande - sobre escavação ("back break") muito severa na parede.

3) Afastamento excessivo - ultra lançamento dos fragmentos rochosos a distâncias consideráveis, crateras verticais, alto nível do sopro atmosférico, vibração no terreno e problemas no pé da bancada.

(c) Fórmulas utilizadas

1) Normalmente utiliza-se, pela prática, a fórmula geral abaixo:

A = 25 a 40 D

Sendo: A = afastamento, em metros.

D = diâmetro do furo, em metros.

2) A fórmula geral pode ser desdobrada em fórmulas mais específicas conforme a tabela abaixo (Tab 7-5):

Tipo de rocha	ANFO	Lama (Belmex)	Emulsão (PV 15)
Branda	30 D	35 D	40 D
Média	25 D	30 D	35 D
Dura	20 D	25 D	30 D

Tab 7-5. Fórmulas específicas do afastamento em função da rocha e do explosivo

3) A seguir outra fórmula usada para cálculo expedito:

$$A = D$$

Sendo: A = afastamento, em metros.

D = diâmetro do furo, em polegadas.

4) Finalmente o valor do afastamento pode também ser calculado em função do diâmetro dos furos, das características da rocha e do tipo de explosivo utilizados, segundo a fórmula de Konia e Walter:

$$A = 0{,}0123\left[2\left(\frac{de}{}\right) + 1{,}5\right] De$$

$$dr$$

Sendo: A = afastamento, em metros.

de = densidade do explosivo em g/cm^3.

dr = densidade da rocha, em g/cm^3.

De = diâmetro do explosivo, em mm.

(4) Espaçamento (E)

(a) Definição

É a distância entre dois furos de uma mesma linha (Fig 7-11).

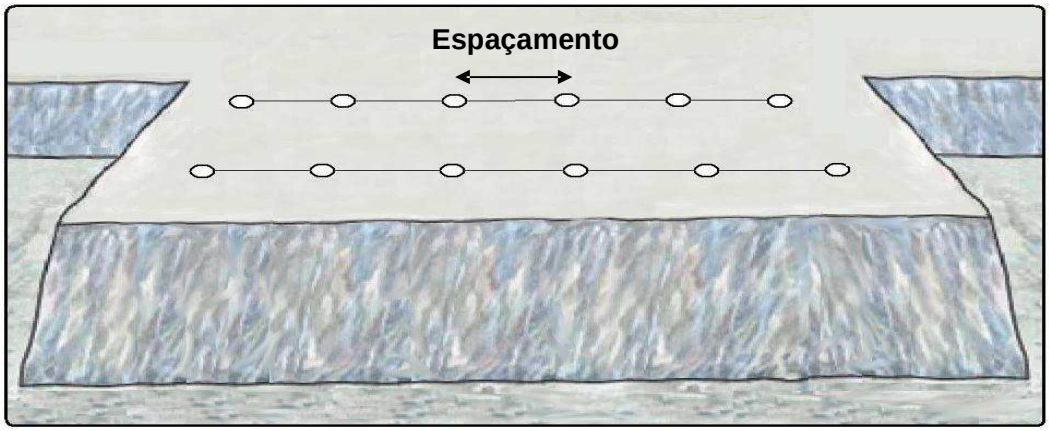


Fig 7-11. Espaçamento

(b) Fórmulas utilizadas

1) O espaçamento é calculado pela seguinte fórmula:

1,15 A < E < 1,30, e em 1ª aproximação → E = 1,3 A

E = 1,15 A → rochas duras: alta resistência da rocha à compressão.

E = 1,30 A → rochas brandas: baixa resistência da rocha à compressão.

Sendo: A = afastamento, em metros.

E = espaçamento, em metros.

2) Pode-se, também, utilizar as seguintes fórmulas:

a) No caso de bancada baixa ($H_B/A<4$), dois casos devem ser observados:

- Se os furos de uma linha são iniciados instantaneamente, a seguinte expressão pode ser usada:

$$E = 0{,}33\ (H_B + 2A)$$

- Se os furos são detonados com retardos, a seguinte expressão pode ser usada:

$$E = \frac{H_B + 7A}{8}$$

b) No caso de bancada alta ($H_B/A>4$), dois casos devem ser observados:

- Se os furos são iniciados instantaneamente, a seguinte expressão pode ser usada:

$$E = 2A$$

- Se os furos são detonados com retardos, a seguinte expressão pode ser usada:

$$E = 1{,}4\ A$$

Sendo: H_B = altura da bancada, em metros.

A e E = igual à fórmula no subparágrafo 1).

OBSERVAÇÃO

O espaçamento **nunca** deve ser menor que o afastamento, caso contrário, o número de matacões será excessivo

(5) Relação afastamento x espaçamento

(a) O espaçamento nunca deve ser inferior ao afastamento, para evitar um número de matacões excessivos, e a relação e/a deve ser mantida constante porque é nesta situação que se obtém a "condição ótima"

(b) Aumentando E e diminuindo A - a rocha ficará mais fragmentada e os blocos resultantes são menores.

(c) Diminuindo E e aumentando A- a fragmentação será reduzida e os blocos resultantes são maiores.

(d) Nas malhas alongadas, onde E/A >1,75, o espaçamento deverá ser de até 2,5 a 3,5 vezes o afastamento.

(6) Sub-furação (S)

(a) Definição

É o comprimento perfurado abaixo da praça da bancada, visando evitar o repé na bancada (Fig 7-12).

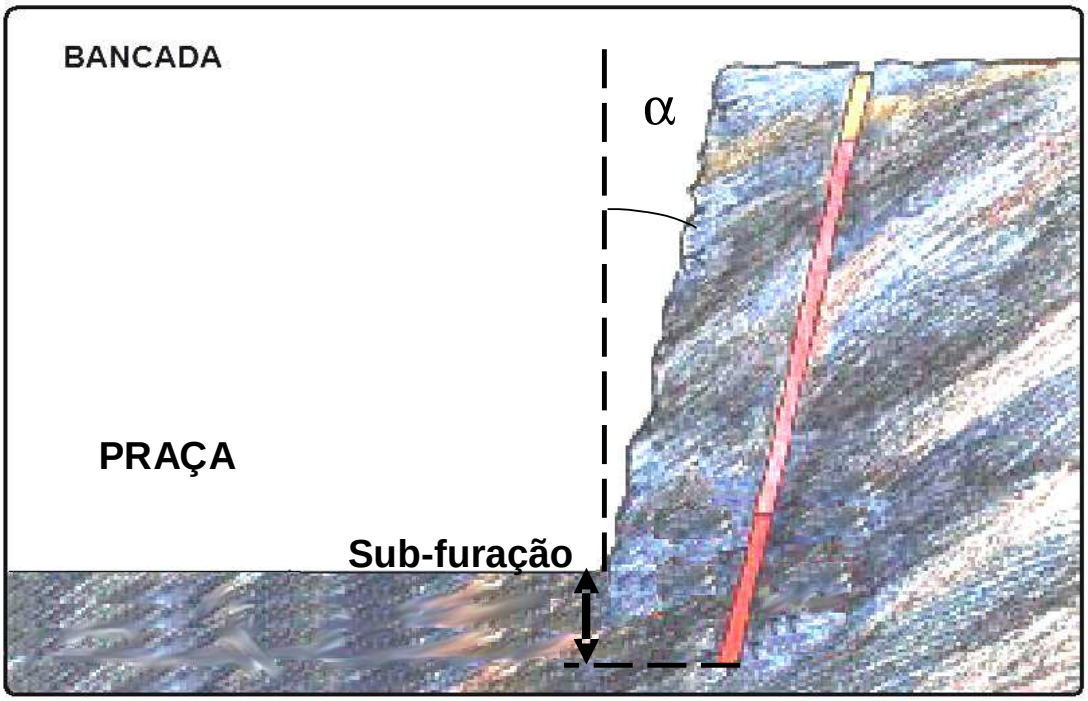


Fig 7-12. Espaçamento

(b) Considerações

Não sendo executado esse acréscimo ao comprimento normal do furo, a bancada não ficará horizontal e irá formar o repé. Dessa forma, serão exigidos fogos secundários que onerarão o desmonte, aumentando os riscos para homens e equipamentos.

(c) Fórmula utilizada:

S = 0,3 A	**→ para furos verticais**
S = (0,3/cos α) A	**→ para furos inclinados**

Sendo: S = sub-furação, em metros.

A= afastamento, em metros.

α = ângulo do furo, em graus (10 a 30^{o}).

(7) Inclinação dos furos (α)

(a) Definições

É definida como o ângulo formado entre a inclinação do furo (bancada) e a linha vertical (Fig 7-13).

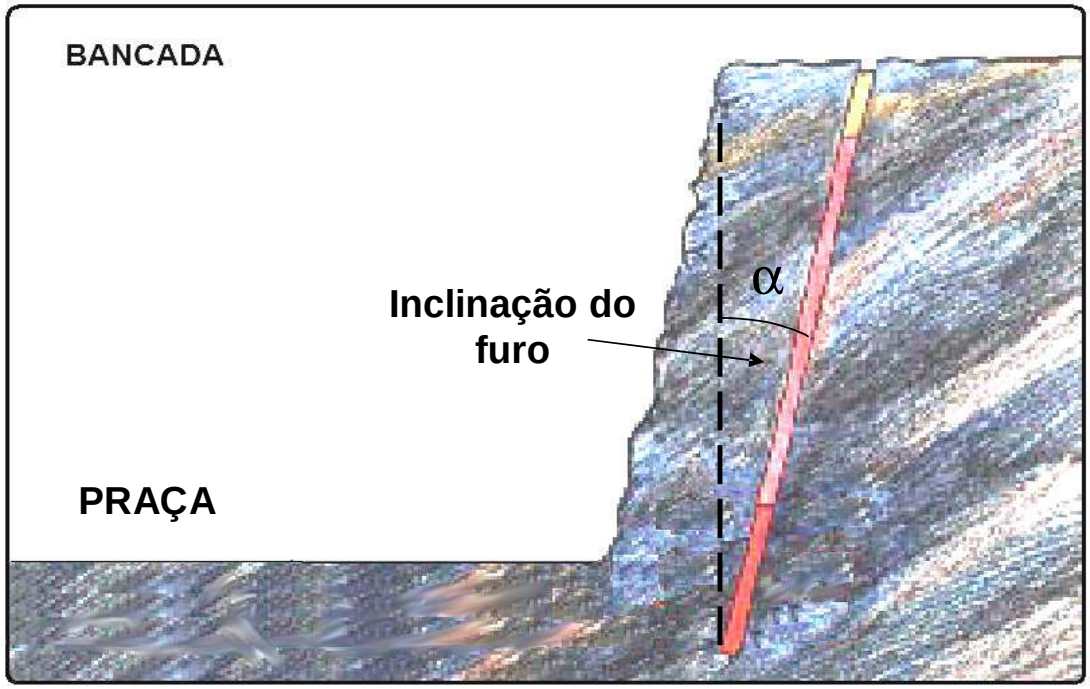


Fig 7-13. Inclinação dos furos

(b) Considerações

Modernamente a execução de bancadas têm se desviado da face vertical para faces inclinadas, obtendo-se com isso:

1) Bancadas com face mais segura;

2) Melhor fragmentação da rocha;

3) Diminuição do consumo de explosivo; e

4) Maiores afastamentos e espaçamentos entre furos.

(c) Fórmula prática:

$$10^{o} < \alpha < 30^{o}$$

Sendo: α = ângulo do furo, em graus.

(8) Comprimento (profundidade) dos furos (H_f)

(a) Definição

Refere-se à profundidade total do furo (Fig 7-14).

Fig 7-14. Comprimento (profundidade) dos furos

(b) Fórmulas aplicadas

1) Fórmula usual

$$H_f = \frac{1}{\cos\alpha} - (H_B + 0{,}3A)$$

Sendo: H_f = comprimento do furo, em metros.

α = ângulo do furo (graus – de 10 a 30°).

H_B = altura da bancada, em metros.

A = afastamento, em metros.

2) Outra fórmula

$$H_f = \frac{H_B}{\cos\alpha} + \left(1 - \frac{\alpha}{100}\right) \times S$$

Sendo: H_f, α, H_B = idem fórmula anterior .

S = sub-furação, em metros.

3) Cálculo da perfuração específica

$$P_E = \frac{H_F}{V_F \alpha}$$

Sendo: P_E = perfuração específica, em m/m^3.

H_f = idem fórmula anterior.

V_F = volume de rocha por furo, em m^3 (ver item 10).

(9) Tampão (T)

(a) Definição

É a parte superior do furo que não é carregada com explosivos, e sim com brita, terra, areia ou outro material inerte bem socado, a fim de evitar a perda de gases do explosivo (Fig 7-15).

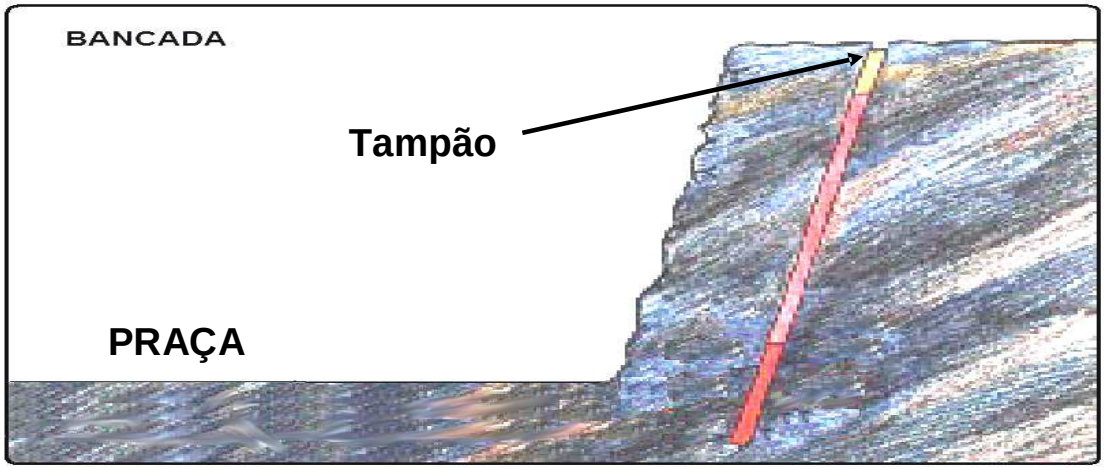


Fig 7-15. Tampão

(b) Considerações

1) O tamponamento deve possuir duas características:

- Hermetismo: que significa estanqueidade à saída dos gases; e

- Resistência: que representa a resistência à saída do tampão por pressão dos gases.

2) O confinamento adequado permite que o explosivo libere o máximo de energia, bem como o controle da sobre-pressão atmosférica e ultra-lançamento dos fragmentos rochosos.

(c) Fórmula prática utilizada:

0,5 A < T< A

Em primeira aproximação:

T = A → quando se inicia a detonação no fundo ou meio da coluna do explosivo.

T = 0,7 A → quando se inicia a detonação na parte superior da coluna do explosivo, usando cordel detonante.

Sendo: A = afastamento, em metros.

T = tampão, em metros.

(d) Relações entre T e A

1) Se **T < A -** Risco do ultralançamento maior da superfície mais alta.

2) Se **T > A -** Produzirá mais matacões, mas o lançamento será menor ou eliminado.

(10) Volume de rocha por furo (V_F)

(a) Definição

É obtido multiplicando a altura da bancada (H_B), pelo afastamento (A) e pelo espaçamento (E) e considerando o ângulo de inclinação da bancada.

(b) Fórmula de cálculo

$$V_F = \frac{Hb \times A \times E}{\cos \alpha}$$

Sendo: V_F= volume de rocha por furo, em m^3.

H_B = altura da bancada, em metros.

A = afastamento, em metros.

E = espaçamento, em metros.

α = ângulo do furo, em graus.

(11) Razão de carregamento (R_C)

(a) Definição

Significa a quantidade em gramas de explosivo necessário ao desmonte de 1 m^3 da rocha.

(b) Fórmula

$$R_C = \frac{Q_E}{V_F} \quad \text{ou} \quad R_C = \frac{Q_E}{A \times E \times H_B} \quad \text{ou} \quad R_C = \frac{H_F \times R_{LC}}{V_F}$$

Sendo: Rc = razão de carregamento, em g/m^3.

Q_E = quantidade de explosivos total, em gramas.

V_F = volume de rocha por furo, em m^3.

A = afastamento, em metros.

E = espaçamento, em metros.

H_B = altura da bancada, em metros.

R_{LC} = razão linear de carregamento, em kg/m.

(c) O quadro abaixo apresenta valores práticos da R_C (Tab 7-6):

Tipo de rocha	Razão de carregamento
Granito, gneiss e basalto	180 a 270 g/m^3
Rocha decomposta	250 a 340 g/m^3
Arenito e folhelo	200 a 300 g/m^3
Hematita compactada	100 a 135 g/m^3
Calcário	75 a 110 g/m^3

Tab 7-6. Valores práticos da razão de carregamento

(12) Razão linear de carregamento (R_{LC})

(a) Definição

Significa a quantidade de explosivo por metro linear do furo.

(b) Fórmula

$$R_{LC} = \frac{\pi \times De^2 \times de}{4000}$$

Sendo: R_{LC} = razão linear de carregamento, em kg/m.

De = diâmetro do explosivo, em mm.

de = densidade do explosivo, em g/cm^3.

(13) Altura da carga de fundo (H_{CF}) e Carga de fundo (Q_{CF})

(a) Altura da carga de fundo (H_{CF})

1) Definição

Trata-se da altura da carga reforçada (explosivo mais denso), que se usa no fundo do furo, onde a rocha é mais engastada.

2) Formulas aplicáveis

$$H_{CF} = 30 \text{ a } 40 \text{ \% de } H_E \quad \text{ou} \quad H_{CF} = 0{,}3\ (H_F - T)$$

Sendo: H_{CF} = altura da carga de fundo, em metros.

H_E = altura da carga de explosivo, em metros.

H_F = comprimento do furo, em metros.

T = comprimento do tampão, em metros.

(b) Carga de fundo (Q_{CF})

1) Definição

Trata-se da carga reforçada (explosivo mais denso), que se usa no fundo do furo, onde a rocha é mais engastada.

2) Formulas aplicáveis

a) Carga de fundo em Kg/m.

$$Q_{CF} = RLC_{CF} \times H_{CF}$$

Sendo: Q_{CF} = carga de fundo, em kg.

RLC_{CF} = razão linear de carregamento da carga de fundo,

H_{CF} = altura da carga de fundo, em metros.

b) A densidade linear da carga de fundo será:

$$d_{CF}\ (g/m) = 0{,}8\ d^2\ (mm^2)$$

Sendo: d_{CF} = densidade linear da carga de fundo (g/m)

(14) Altura da carga de coluna (H_{CC}) e Carga de coluna (Q_{CC})

(a) Altura da carga de coluna (H_{CC})

1) Definição

É a altura da carga usada acima da carga de fundo, que não precisa ser tão densa porque a rocha nessa região não é tão pesada.

2) Fórmula

$$H_{CC} = H_F - H_{CF} - T$$

Sendo: H_{CC} = altura da carga de coluna, em metros.

H_F = comprimento do furo, em metros.

H_{CF} = altura da carga de fundo, em metros.

T = comprimento do tampão, em metros.

(b) Carga de coluna (H_{CC})

1) Definição

É a carga usada acima da carga de fundo, que não precisa ser tão densa porque a rocha nessa região não é tão pesada.

2) Fórmula

$$Q_{CC} = RLC_{CC} \times H_{CC}$$

Sendo: Q_{CC} = carga de coluna, em kg.

RLC_{CC} = razão linear de carregamento da carga de coluna, em kg/m.

H_{CC} = altura da carga de coluna, em metros.

(15) Frente de trabalho (F)

(a) Definição

Calculada por meio dos valores conhecidos E e A, tendo como terceira variável a "frente de trabalho" a ser distribuída, em uma ou mais filas de furos, de acordo com a necessidade de produção.

(b) Fórmula aplicável

$$N_B = H_B \times A_S \times F$$

Sendo: N_B = necessidade de brita, em m^3.

H_B = altura da bancada, em metros.

A_S = soma dos Afastamentos (2 linhas = 2 Afastamentos), em metros.

F = frente de trabalho, em metros.

(16) Número de furos (números de espaçamentos)

(a) Definição

É a quantidade de furos necessária para realizar, de acordo com a necessidade de produção, o desmonte em rocha.

(b) Fórmulas aplicáveis

1) Em função da frente de trabalho

$$N_F = \frac{F}{E}$$

Sendo: N_F = número de furos.

F = frente de trabalho, em metros.

E = espaçamento, em metros.

Observação: Caso o número resultante não seja inteiro é necessário fazer um ajuste, aproximando para o número inteiro maior e múltiplo do números de linhas do desmonte.

2) Em função do volume de rocha por furo

$$N_F = \frac{N_B}{V_F^{\alpha}}$$

Sendo: N_F = número de furos.

N_B= necessidade de brita em m^3.

V_F = volume de rocha por furo, em m^3.

(17) Escolha do explosivo e seus efeitos

(a) Definição

O explosivo deve ser escolhido em função de suas características, do tipo de rocha a ser desmontada, dos custos do desmonte e dos impactos ambientais.

(b) Considerações

A princípio valem as seguintes regras gerais:

1) Quanto maior a densidade do explosivo, maior o espaçamento e afastamento para dada razão de carregamento e, portanto, menor o número de furos;

2) O diâmetro do explosivo deve ser tal que possibilite o carregamento sem esforço e sem folga excessiva.

(c) Características dos explosivos

Os explosivos utilizados no desmonte devem ser escolhidos tendo como base as seguintes características: força, volume gasoso, velocidade de detonação, energia absoluta RWS (%) e RBS (%), sensibilidade à iniciação, resistência à água, classe de gases (balanço de oxigênio); e densidade média. Esta escolha deverá ser realizada fazendo-se um balanço entre as características supracitadas, o custo de mercado e o seu emprego, ou seja, o melhor explosivo será aquele que melhor se adéqua às características exigidas para determinado tipo de emprego com o menor custo.

(d) Tabela de características dos explosivos

Explosivo	Força	Volume Gasoso	Velocidade de detonação	RWS e RBS	Sensibilidade à iniciação	Resistência à água	Densidade Média	Pressão de detonação
PV 15	74%	770 l/kg 914 l/kg	5500 m/s	940 Kcal/kg	Sensível a cordel NP 10 e espoleta Nr 8	Excelente > 72hs	1,40	106 kbar
ANFO	67 %	988 l/kg	3000 m/s	846 Kcal/kg	Sensível a espoleta Nr 8	Nenhuma 0hs	0,80	-
Emulsão	65%	918 l/kg	4000 m/s	837 Kcal/kg	Sensível a cordel NP 10 e espoleta Nr 8	Excelente > 72hs	1,18	74 kbar

Tab 7-7. Características dos principais explosivos utilizados no desmonte de rocha

(e) Uso do explosivo em relação ao tipo de rocha a ser desmontada:

1) Rocha mais dura necessita de explosivos de alta velocidade e maior densidade;

2) Rochas brandas operam com explosivos mais lentos e de menor densidade; e

3) Rochas fragmentadas pedem explosivos de velocidade mais baixa e maior cuidado no tamponamento;

(f) Uso do explosivo em relação ao custo do desmonte

A tendência atual é usar maiores diâmetros de perfuração que permitirão maior concentração de carga por furo e emprego de explosivos menos densos e mais econômicos. Os custos dos podem ser analisados pela Fig 7-16.

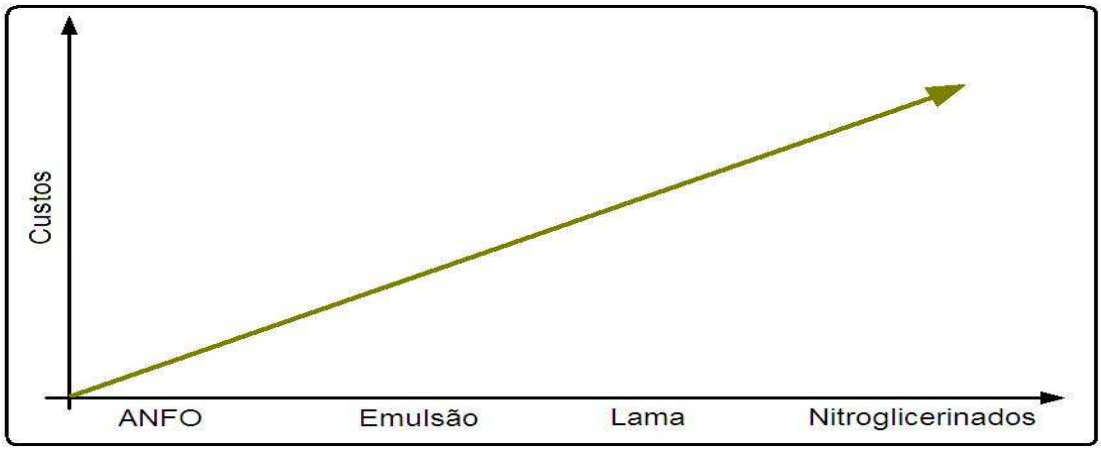


Fig 7-16. Gráfico de custo em relação ao tipo de explosivo

(18) Carga por furo de explosivo e carga total;

(a) Carga por furo de explosivo

1) Definição

É a quantidade total de explosivos por furo.

2) Fórmula aplicada

$$C_F = R_{LC} \times H_E$$

Sendo: C_F = carga de explosivo por furo, em kg.

R_{LC} = razão linear de carregamento, em kg/m.

H_E = H_F(altura do furo) – T(tampão), em metros.

(b) Carga total de explosivos

1) Definição

É a quantidade total de explosivos para a detonação.

2) Fórmula aplicada

$$C_T = N_F \times C_F$$

Sendo: C_T = carga de explosivos total, em kg.

N_F = número de furos.

C_F = carga de explosivo por furo, em kg.

(19) Retardos

(a) Definição

É o tempo de retardo entre a iniciação de um ou mais furos em uma mesma detonação.

(b) Considerações

O tempo de retardo entre furos é crítico, tendo em vista que:

- remove os fragmentos da face livre;
- fornece uma nova face livre;
- determina direção do movimento;
- afeta as vibrações do terreno;
- controla os lançamentos; e
- controla a fragmentação.

(20) Sequência de detonação dos furos

(a) Definição

É sequência de iniciação dos furos em uma mesma detonação.

(b) Tipos de malhas (Fig 7-17)

As malhas são definidas pela relação entre espaçamento e afastamento. Existem as malhas quadradas e as retangulares.

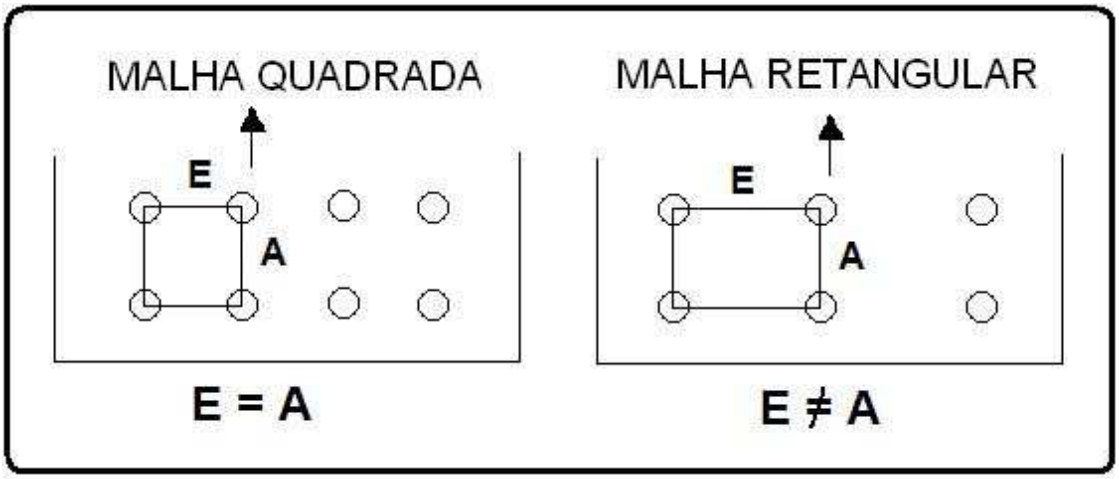


Fig 7-17. Malha quadrada e retangular

(c) Tipos de saída

As saídas são caracterizadas pela disposição e sequenciamento da detonação dos furos. As saídas podem ser: em “V” (pé de galinha), em linha ou furo a furo (Fig 7-18 a 7-20).

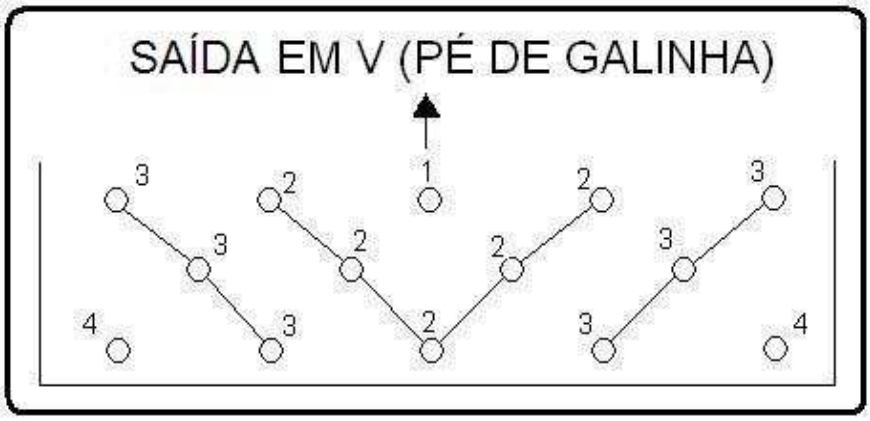


Fig 7-18. Saída em “V” (pé de galinha)

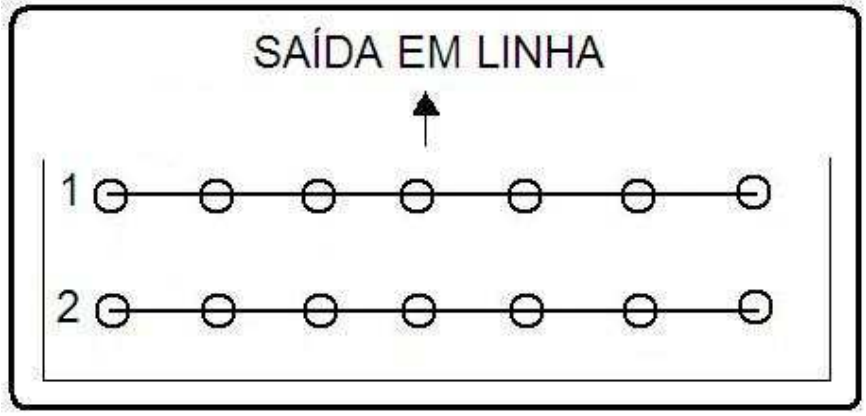


Fig 7-19. Saída em linha

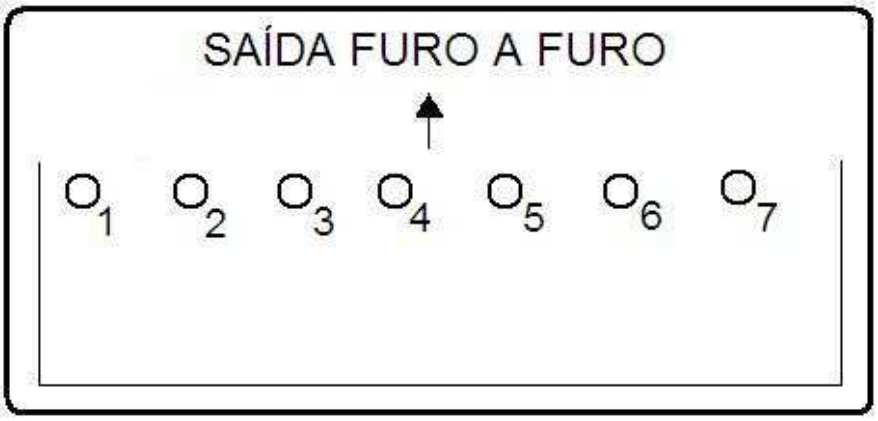


Fig 7-20. Saída furo a furo

(c) Análise de uma malha quadrada

1) Saída em “V”: menor lançamento e maior fragmentação.
2) Saída em linha: maior lançamento e menor fragmentação.
3) Saída furo a furo: melhor fragmentação.

(21) Acessórios de detonação

(a) Definição

Equipamentos e dispositivos que se destinam a fazer detonar a carga explosiva principal. A descrição e características estão definidas no Capítulo 3.

(b) Tipos

Para execução de um desmonte de rocha, geralmente são utilizados os seguintes tipos de acessórios e equipamentos:

(a) Geradores de energia:

1) Explosores para espoletas elétricas; e

2) Explosores para tubo NONEL.

(b) Transmissores de energia:

1) Estopins;

2) Cordéis detonantes; e

3) Tubo NONEL.

(c) Retardadores:

1) Espoletas com retardo;

2) Retardos para cordel; e

3) Espoletas com retardo (NONEL).

(d) Agentes iniciadores (escorvas):

1) Espoletas:

a) Comum; e

b) Elétricas.

2) Cordéis detonantes; e

3) Detonadores NONEL.

(e) Reforçadores

Booster.

5. EXEMPLO DE CÁLCULO DE UM PLANO DE FOGO

a. Exercício 1

(1) Considere os seguintes dados para resolução do plano de fogo:

(a) Rocha: calcário;

(b) Altura da bancada: 15,0 m;

(c) Diâmetro da perfuração: 101 mm (4”);

(d) Angulo de inclinação dos furos: 20°;

(e) Explosivo utilizado: ANFO (94,5/5,5); de = 0,85 g/cm^3;

(f) Densidade da rocha: 2,7 g/cm^3 = 2,7 t/m^3;

(g) Condição de carregamento: furos secos;

(h) Serão utilizados elementos de retardos entre os furos de uma mesma linha;

(i) A detonação será iniciada na parte superior da coluna do explosivo, usando cordel detonante;

(j) Não serão consideradas as cargas de coluna e fundo;

(l) Necessidade de brita = 5000 m^3;

(m) Considere duas linhas de furos para o desmonte de rocha; e

(n) Custos:

1) Explosivos
   a) ANFO: R$ 0,9/kg.
   b) Boosters: R$ 6,0 / unidade.
   c) Retardos de superfície de 30 ms: R$ 120 / unidade.
   d) Cordel detonante: R$ 0,70/m.
   e) Espoletim: R$ 2,20 / unidade.

2) Perfuração R$ / m^3
   a) Acessórios da perfuratriz: R$ 0,81.
   b) Mão de obra: R$ 1,50.
   c) Custo do equipamento e compressor: R$ 2,01. d) Combustível, graxas, lubrificantes etc: R$ 1,20.
   e) **Total:** R$ 5,52 / m^3.

(2) Resposta

(a) Cálculo do afastamento (A)

Neste caso será utilizada a fórmula de Konia e Walter

$$\mathbf{A} = 0{,}0123\left[2\times\frac{de}{dr}+1{,}5\right]\times D_E = 0{,}0123\left[2\times\frac{0{,}85}{2{,}7}+1{,}5\right]\times 101 \cong \mathbf{2{,}6\ m}$$

(b) Cálculo do espaçamento (E)

Inicialmente devemos encontrar o valor da divisão H_B/A para verificar qual tipo da bancada que estamos trabalhando. Neste caso será 15/2,6 = 5,8. Conclui-se que 5,8 é maior que 4 e portanto a bancada em questão é considerada alta. Como optaremos pelo uso de retardos, aplicaremos a fórmula E =1,4 A.

$\mathbf{E}$ = 1,4 x 2,6 $\cong$ **3,6 m**

(c) Cálculo do sub-furação (S)

$\mathbf{S}$ = (0,3/cos α) A $\rightarrow$ para furos inclinados.

S = 0,3 / cos 20°) x 2,6 $\cong$ **0,83 m**

(d) Cálculo do comprimento (profundidade) dos furos (H_F)

$$\mathbf{H_F} = \frac{H_B}{\cos\alpha}+\left(1-\frac{\alpha}{100}\right)\times S = \frac{15}{\cos 20^\circ}+\left(1-\frac{20}{100}\right)\times 0{,}83 \cong \mathbf{16{,}6\ m}$$

(e) Cálculo do tampão (T)

T = 0,7 A $\rightarrow$ quando se inicia a detonação na parte superior da coluna do explosivo, usando cordel detonante.

$\mathbf{T}$ = 0,7 x 2,6 m = **1,82 m**

T < A - risco de ultralançamento maior da superfície mais alta $\rightarrow$ atentar para o perímetro de segurança. Se for o caso colocar uma rede de enchimento (pneus, manta etc) por cima da bancada para evitar o ultralançamento de pedras.

(f) Cálculo do volume de rocha por furo (V_F)

$$\mathbf{V_F} = \frac{H_B\times A\times E}{\cos\alpha} = \frac{15\times 2{,}6\times 3{,}6}{\cos 20^\circ} \cong \mathbf{149{,}4\ m^3}$$

(g) Cálculo da razão linear de carregamento (R_{LC})

$$\mathbf{R_{LC}} = \frac{\pi\times De^2\times de}{4000} = \frac{\pi\times 101^2\times 0{,}85}{4000} \cong \mathbf{6{,}81\ kg/m}$$

(h) Cálculo da altura do explosivo (H_E)

Como neste caso somente será usado o ANFO como explosivo e não serão consideradas as cargas de coluna e fundo, utiliza-se neste caso a altura do explosivo (H_E).

$$H_E = H_F - T = 16,6 - 1,82 \cong 14,80 \text{ m}$$

(i) Cálculo da carga por furo (Q_E)

$$Q_E = R_{LC} \times H_E = 6,81 \times 14,80 \cong 100,8 \text{ kg}$$

(j) Cálculo da razão de carregamento (R_C)

$$R_C = \frac{Q_E}{V_F} = \frac{100,8}{149,4} = 0,675 \text{ kg /m}^3 \text{ de rocha} \cong \mathbf{675\ g/m^3}$$

Como a densidade do rocha é 2,7 t/m^3, conclui-se que a taxa de carregamento também será: 674 g/m^3 ÷ 2,7 t/m^3 ≅ **250 g/ t**

(l) Cálculo da perfuração específica (P_E)

$$P_E = \frac{H_F}{V_F \alpha} = \frac{16,6}{149,4} \cong 0,11 \text{ m/m}^3$$

Como a densidade do rocha é 2,7 t/m^3, conclui-se que a perfuração específica também será: 0,11 m/m^3 ÷ 2,7 t/m^3 ≅ **0,04 m/ t**

(m) Número de furos (números de espaçamentos)

$$N_F = \frac{N_B}{V_F \alpha} = \frac{5000}{149,4} = 33,46 \cong 34 \text{ furos}$$ (Número múltiplo de dois, pois serão realizadas duas linhas).

Ajuste da necessidade de brita: 34 x 149,4 = **5079,6** m^3

(n) Frente de trabalho (F)

$$N_B = H_B \times A_S \times F \rightarrow \mathbf{F} = \frac{5079,6}{15 \times (2 \times 2,6)} \cong \mathbf{65,1\ m}$$

(o) Cálculo do total de metros perfurados (MP)

$MP = N_F \times H_F = 34 \times 16,6 =$ **564,4 m**

(p) Cálculo do total de explosivos

$= N_F \times Q_E = 34 \times 100,8 =$ **3427,2 kg de ANFO**

(q) Cálculo do custo dos explosivos e acessórios

1) Custo com explosivo (CCE):

ANFO = R$ 0,9 x 3427,2 kg = **R$ 3.084,48.**

2) Custo com acessórios (CA):

a) 34 Boosters (um por furo): R$ 6,0 x 34 = R$ 204,00.

b) 2 retardos de superfície de 30ms(2 linhas): R$12x2 = R$24,0.

c) Cordel detonante (795 m – furos , tronco e ramificação): R$ 0,70 x 795 = R$ 556,5.

d) 2 espoletins: R$ 2,20 x 2 = R$ 4,40.

e) Custo total = R$204 + R$24 + R$ 556,5 + R$ 4,4 = R$ 788,9.

3) Custo com explosivo e acessórios (CEA)

CEA = CCE + CA = R$ 3.084,48 + R$ 788,9 = R$ 3.873,38

(r) Cálculo do custo da perfuração (CP)

CP = MP x custo/m = 564,4 m x R$ 5,52/m = **R$ 3.115,49**

(s) Cálculo do custo total do desmonte (Perfuração + Explosivos e acessórios) (CTD)

CTD = CP + CEA = R$ 3.873,38 + R$ 3.115,49 = **R$ 6.988,87**

(t) Custo por m^3

R$ 6.988,87 ÷ 5079,6 m^3) = **R$ 1,38 / m^3**

(u) Custo por tonelada

[R$ 6.988,87 ÷ (5079,6 m^3 x 2,7 t/m^3)] = **R$ 0,51/t**

b. Exercício 2

(1) Considere os seguintes dados para resolução do plano de fogo:

(a) Rocha: granito;

(b) Altura da bancada: 7,5 m;

(c) Diâmetro da perfuração: 76 mm (3”);

(d) Angulo de inclinação dos furos: 15°;

(e) Explosivo utilizado: emulsão encartuchada; de = 1,15 g/cm^3;

(f) Dimensões dos cartuchos: 2½” x 24” (64 mm x 610 mm)

(g) Densidade da rocha: 2,5 g/cm^3 = 2,5 t/m^3;

(h) Condição de carregamento: furos com água;

(i) Serão utilizados elementos de retardos entre os furos de uma mesma linha;

(j) A detonação será iniciada na parte superior da coluna do explosivo, usando cordel detonante;

(l) Não serão consideradas as cargas de coluna e fundo;

(m) Necessidade de brita = 4000 m^3;

(n) Considere quatro linhas de furos para o desmonte de rocha; e

(o) Custos:

1) Explosivos
   a) Emulsão encartuchada: R$ 4,40/kg.
   b) *Boosters*: R$ 6,0 / unidade.
   c) Retardos de superfície de 30 ms: R$ 12,0 / unidade.
   d) Cordel detonante: R$ 0,70/m.
   e) Espoletim: R$ 2,20 / unidade.

2) Perfuração R$ / m^3
   a) Acessórios da perfuratriz: R$ 0,81.
   b) Mão de obra: R$ 1,50.
   c) Custo do equipamento e compressor: R$ 2,01.
   d) Combustível, graxas, lubrificantes etc: R$ 1,20.
   e) **Total:** R$ 5,52 / m^3.

(2) Resposta

(a) Cálculo do afastamento (A)

Neste caso será utilizada a fórmula de Konia e Walter

$$\mathbf{A} = 0{,}0123\left[2\times\frac{de}{dr}+1{,}5\right]\times D_E = 0{,}0123\left[2\times\frac{1{,}15}{2{,}5}+1{,}5\right]\times 64 \cong \mathbf{1{,}9\ m}$$

(b) Cálculo do espaçamento (E)

Inicialmente devemos encontrar o valor da divisão H_B/A para verificar qual tipo da bancada que estamos trabalhando. Neste caso será 7,5/1,9 = 3,94. Conclui-se que 3,94 é menor que 4 e portanto a bancada em questão é considerada baixa. Como optaremos pelo uso de retardos, aplicaremos a fórmula $\mathbf{E} = \frac{H_B+7A}{8}$.

$$\mathbf{E} = \frac{7{,}5+7\times 1{,}9}{8} = \mathbf{2{,}6\ m}$$

(c) Cálculo do sub-furação (S)

S = (0,3/cos α) A → para furos inclinados.

S = 0,3 / cos 15°) x 1,9 ≅ **0,59 m**

(d) Cálculo do comprimento (profundidade) dos furos (H_F)

$$H_F = \frac{H_B}{\cos\alpha} + \left(1 - \frac{\alpha}{100}\right) \times S = \frac{7,5}{\cos 15^\circ} + \left(1 - \frac{15}{100}\right) \times 0,59 \cong \mathbf{8,3\ m}$$

(e) Cálculo do tampão (T)

T = 0,7 A → quando se inicia a detonação na parte superior da coluna do explosivo, usando cordel detonante.

T = 0,7 x 1,9 m = **1,33 m**

T < A - risco de ultralançamento maior da superfície mais alta → atentar para o perímetro de segurança. Se for o caso colocar uma rede de enchimento (pneus, manta etc) por cima da bancada para evitar o ultralançamento de pedras.

(f) Cálculo do volume de rocha por furo (V_F)

$$V_F = \frac{H_B \times A \times E}{\cos\alpha} = \frac{7,5 \times 1,9 \times 2,6}{\cos 15^\circ} \cong \mathbf{38,4\ m^3}$$

(g) Cálculo da razão linear de carregamento (R_{LC})

$$R_{LC} = \frac{\pi \times De^2 \times de}{4000} = \frac{\pi \times 64^2 \times 1,15}{4000} \cong \mathbf{3,7\ kg/m}$$

(h) Cálculo da altura do explosivo (H_E)

Como neste caso somente será usado a emulsão encartuchada como explosivo e não serão consideradas as cargas de coluna e fundo, utiliza-se neste caso a altura do explosivo (H_E).

$H_E = H_F - T = 8,3 - 1,33 \cong$ **7,0 m**

(i) Cálculo da carga por furo (Q_E)

Para este caso, como será usado a emulsão encartuchada como explosivo e esta possui um tamanho padronizado (64 mm x 610 mm). Usa-se o seguinte cálculo:

$$\text{Nr de cartuchos por furo}(NC_F) = \frac{H_E}{\text{Comprimento do cartucho}} = \frac{7,0}{0,610} \cong \mathbf{12}$$

$Q_E = R_{LC} \times H_E = 3,7 \times 7,0 =$ **25,9 kg**

(j) Cálculo da razão de carregamento (R_C)

$$\mathbf{R_C} = \frac{Q_E}{V_F} = \frac{25,9}{38,4} = 0,674 \text{ kg /m}^3 \text{ de rocha} \cong \mathbf{674\ g/m^3}$$

Como a densidade do rocha é 2,5 t/m^3, conclui-se que a taxa de carregamento também será: 674 g/m^3 ÷ 2,5 t/m^3 ≅ **270 g/ t**

(l) Cálculo da perfuração específica (P_E)

$$\mathbf{P_E} = \frac{H_F}{V_F \alpha} = \frac{8,3}{38,4} \cong 0,22 \text{ m/m}^3$$

Como a densidade do rocha é 2,5 t/m^3, conclui-se que a perfuração específica também será: 0,22 m/m^3 ÷ 2,5 t/m^3 ≅ **0,09 m/ t**

(m) Número de furos (números de espaçamentos)

$$\mathbf{N_F} = \frac{N_B}{V_F \alpha} = \frac{4000}{38,4} = 104,1 \cong 108 \text{ furos}$$ (Número múltiplo de quatro superior, pois serão realizadas quatro linhas).

Ajuste da necessidade de brita: 108 x 38,4 = **4147,2 m^3**

(n) Frente de trabalho (F)

$$\mathbf{N_B} = H_B \times A_S \times F \rightarrow \mathbf{F} = \frac{4147,2}{7,5 \times 4 \times 1,9} \cong \mathbf{73,0\ m}$$

(o) Cálculo do total de metros perfurados (MP)

MP = N_F x H_F = 108 x 8,3 = **896,4 m**

(p) Cálculo do total de explosivos

= N_F x Q_E = 108 x 25,9 = **2797,2 kg de emulsão encartuchada**

(q) Cálculo do custo dos explosivos e acessórios

1) Custo com explosivo (CCE):

Emulsão encartuchada = R$4,4 x 2797,2 = **R$ 12.307,68 kg.**

2) Custo com acessório (CA):

a) 108 *Booster*s (um por furo): R$ 6,0 x 108 = R$ 648,0.

b) 4 retardos de superfície de 30ms(4 linhas): R$12,0x4 = R$48,0.

c) Cordel detonante (1300 m – furos, tronco e ramificação): R$ 0,7 x 1300 = R$ 910,0.

d) 2 espoletins: R$ 2,20 x 2 = R$ 4,40.

e) Custo total = R$648 + R$48 + R$ 910,0 + R$ 4,4 = R$ 1610,4.

3) Custo com explosivo e acessório (CEA)

CEA = CCE + CA = R$ 12.307,68 + R$ 1610,4 = R$ 13.918,08.

(r) Cálculo do custo da perfuração (CP)

CP = MP x custo/m = 896,4 m x R$ 5,52/m = **R$ 4.948,1.**

(s) Cálculo do custo total do desmonte (Perfuração + Explosivos e acessórios) (CTD)

CTD = CEA + CP= R$ 13.918,08 + R$ 4.948,1 = **R$ 18.866,18.**

(t) Custo por m^3

R$ 18.866,18÷ 4147,2 m^3) ≅ **R$ 4,55 / m^3**

(u) Custo por tonelada

[R$ 18.866,18÷ (4147,2 m^3 x 2,5 t/m^3)] ≅ **R$ 1,82 / t**

6. PREPARAÇÃO E EXECUÇÃO DOS FOGOS

a. Generalidades

Refere-se ao conhecimento prático de como manusear e de como aplicar os conhecimentos sobre explosivos comerciais.

b. Preparo das escorvas

O preparo das escorvas deve ser realizado da mesma maneira que está prescrito no Capítulo 4. As escorvas a serem feitas são:

(1) Escorva estopim – espoleta;

(2) Escorva estopim - espoleta em cartucho;

(3) Escorva cordel detonante – explosivo (dinamite ou emulsão); e

(4) Escorva NONEL – explosivo (dinamite ou emulsão).

c. Carregamento dos furos (Fig 7-21)

(1) Sempre utilize os cartuchos de emulsão com diâmetros compatíveis ao diâmetro do furo permitindo seu total preenchimento;

(2) Descer a 1ª banana de dinamite, emulsão (escorvada) ou o booster (para explosivos granulados) até o fundo do furo;

(3) Encostar o cordel, tubo NONEL ou fio condutor à parede do furo, bem esticado;

(4) Completar o carregamento do explosivo nos furos;

(5) Cortar o cordel ou tubo NONEL num comprimento que permita sobra

para fazer o nó; e

(6) Completar o furo com o enchimento (tampão).

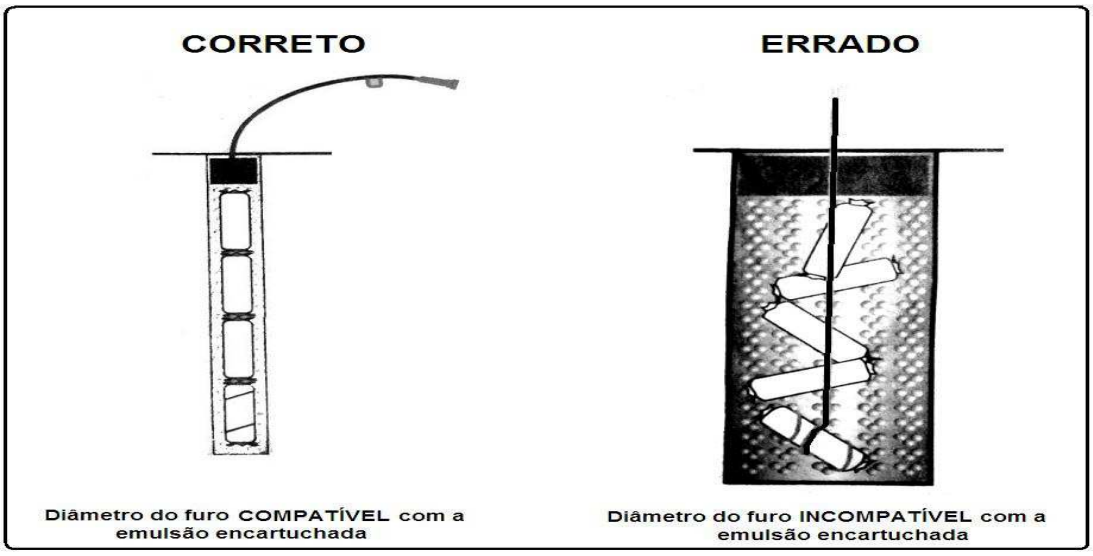

CORRETO
ERRADO
Diâmetro do furo COMPATÍVEL com a emulsão encartuchada
Diâmetro do furo INCOMPATÍVEL com a emulsão encartuchada

Fig 7-21. Carregamento dos furos com emulsão

d. Diagrama das ligações

(1) Utilizando cordel detonante (Fig 7-22):

(a) Escolher o tipo de saída mais adequada;

(b) Colocação da espoleta por último;

(c) Distância mínima de 20 cm entre cordéis detonantes;

(d) Garantia de dois caminhos da onda de detonação;

(e) Intercalar o retardo nas linhas tronco e secundária;

(f) Elementos de retardo devem estar ligados próximos da linha de furos a ser retardada; e

(g) Introduzir retardos somente no momento de efetuar o disparo.

(2) Utilizando NONEL

(a) Escolher o tipo de saída mais adequada;

(b) Colocação da espoleta por último;

(c) Distância mínima de 20 cm entre cordéis detonantes;

(d) Garantia de dois caminhos da onda de detonação.

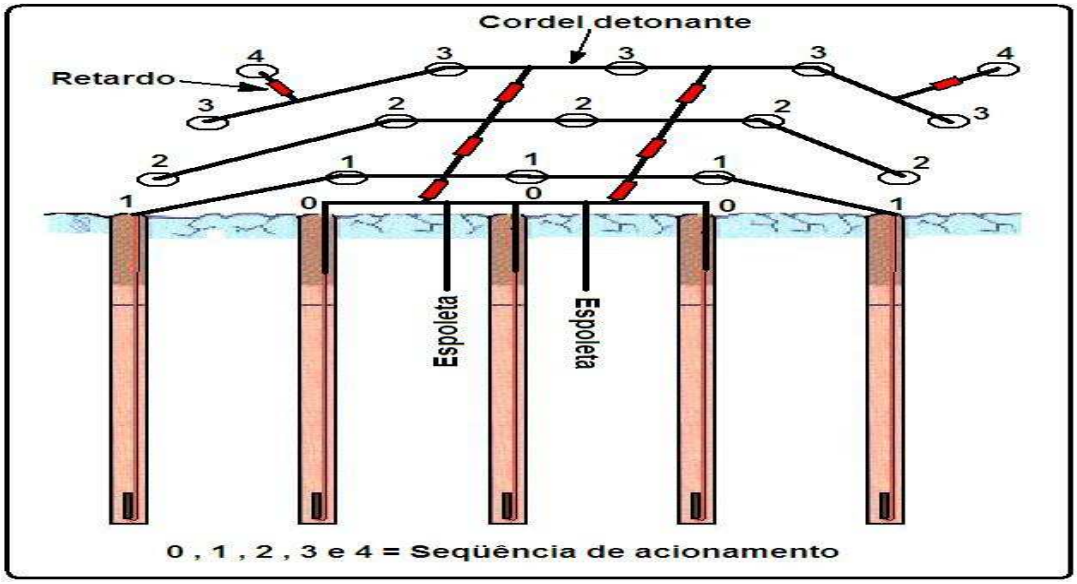


Fig 7-22. Diagrama de ligações em uma bancada de quatro linhas de furos

e. Ligação com a linha tronco

(1) Utilizando cordel detonante

(a) Deve-se atentar para todas as prescrições prescritas no Capítulo 4, com relação à utilização do cordel detonante.

(b) Desenrolar o cordel a partir da posição onde será colocada a espoleta;

(c) Ligar a espoleta no sentido da linha de menor resistência;

(d) Fazer as emendas da linha tronco observando o ângulo das ramificações e os ajustes e a execução perfeita dos nós.

(2) Utilizando NONEL

(a) Iniciar as conexões do NONEL pelo furo central ou pelo que será iniciado primeiro;

(b) Assegurar que todas as emendas estejam perfeitamente encaixadas;

e

(c) Ligar a espoleta na conexão do furo que será iniciado primeiro.

f. Colocação da espoleta (Fig 7-23)

(1) Ligar uma espoleta qualquer no sentido da detonação;

(2) Fixar com fita isolante.

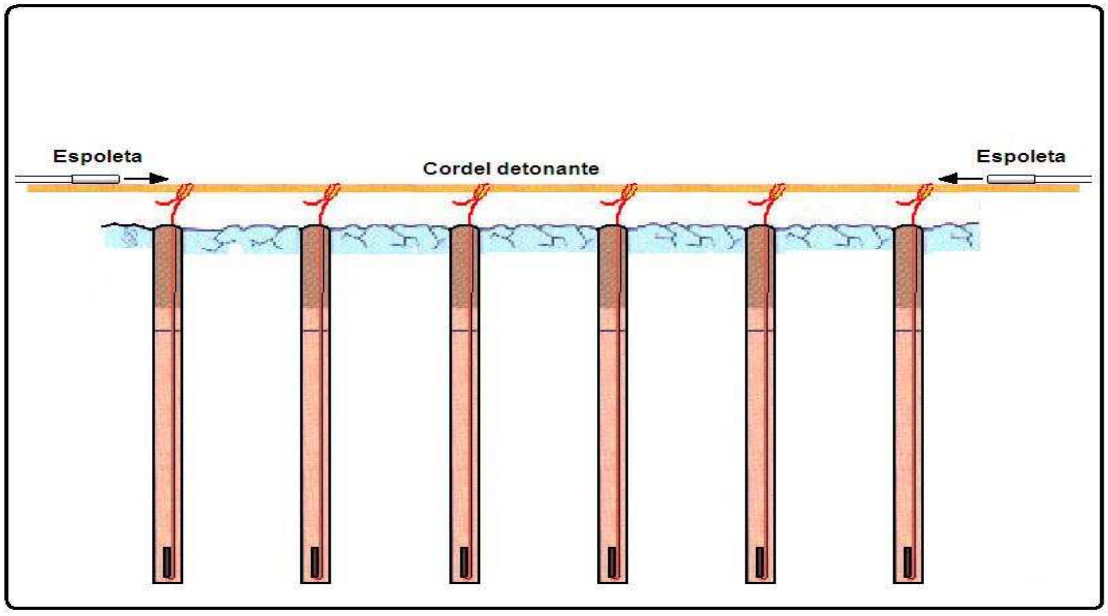


Fig 7-23. Colocação da espoleta em uma fileira de furos

7. INICIAÇÃO DO SISTEMA a. Iniciação com estopim b. Iniciação elétrica

c. Iniciação com NONEL

As iniciações acima listadas devem seguir os mesmos procedimentos descritos no Capítulo 4.

8. EXECUÇÃO DA DETONAÇÃO E RETORNO A ÁREA DE FOGO

a. Detonação

(1) Evacuação completa das pessoas para fora do perímetro de segurança;

(2) Detonar pelo meio escolhido; e

(3) Acionar um alarme de modo a alertar que a detonação já foi iniciada.

b. Retorno à área do fogo

(1) Aguardar até que os gases se dissipem;

(2) Cuidados em trabalhos - a céu aberto (pedreiras); e

- Pedras soltas

(3) Cuidados nos trabalhos subterrâneos

(a) Gases tóxicos; e

(b) Pedras soltas.

ARTIGO V - AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

9 ANÁLISE DE RESULTADOS E AÇÕES CORRETIVAS

a. Aspectos a considerar na avaliação dos fogos

(1) Fragmentação e compactação da rocha desmontada.
(2) Geometria da pilha (Fig 7-24).
(3) Estado do maciço residual e piso da bancada.
(4) Presença de matacões na pilha.
(5) Vibrações arremessamento e sobrepressão.

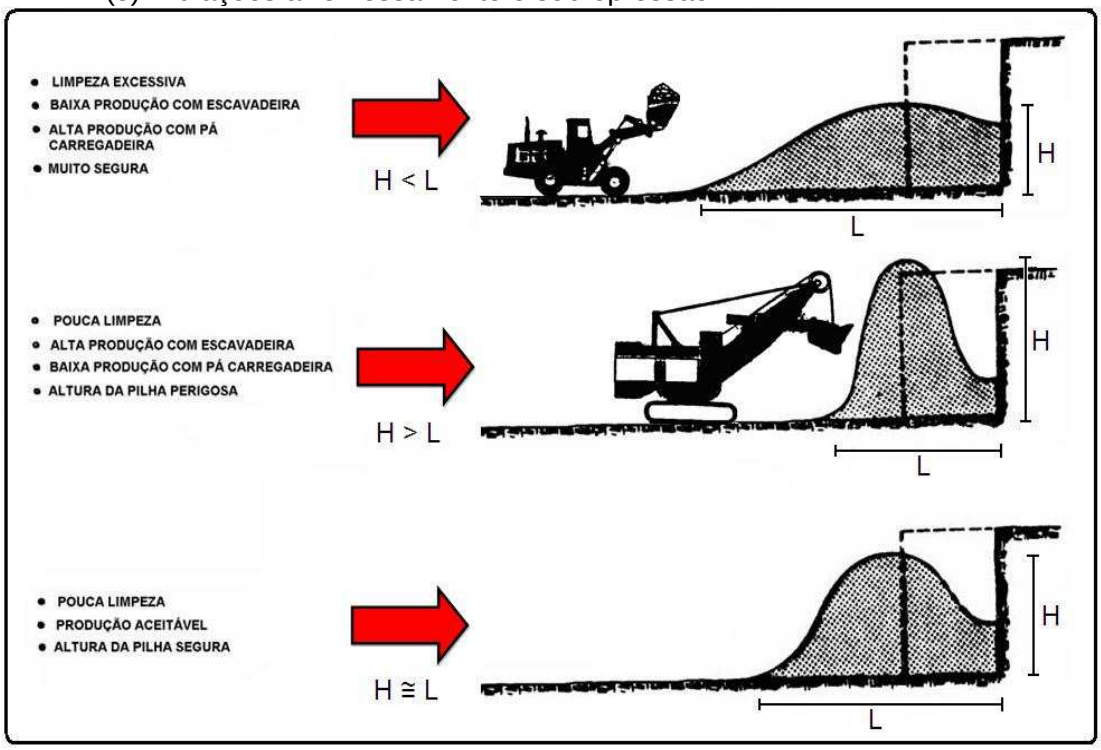


Fig 7-24. Perfis de pilhas de rochas desmontadas

b. Consequências de um plano de fogo errado

(1) Na britagem

(a) Engaiolamento de blocos no britador (grande presença de matacões);

(b) Atrasos nas correias, advindos do engaiolamento de matacões; e

(c) Aumento nos custos da manutenção do britador.

(2) No controle do Maciço

(a) Instabilidade dos taludes – é constatada pela presença de rochas salientes ou trincamento do maciço;

(b) Aumento no tempo do bate choco – é originado pela necessidade da retirada de rochas instáveis devido a um mau planejamento do plano de fogo; e

(c) Sobreescavação do maciço.

(3) Impactos ambientais - são os problemas gerados pelo desmonte de rochas com explosivos, da parte da energia liberada que não gera trabalho. A seguir estão listados alguns exemplos:

(a) Excessivo pulso de ar gerado pela detonação (sobrepressão) - significa o aumento da pressão do ar acima da pressão atmosférica, por efeito da detonação de um explosivo. Podem ser ocasionados por: emissão dos tampões, afastamento incorreto ou falta de cobertura dos cordéis detonantes;

(b) Maior ultralançamento de pedaços de rocha;

(c) Excessiva poeira e gases;

(d) Excessiva vibração do terreno - são os efeitos elásticos causados pelas ondas de choque em pontos próximos à área de fogo que podem causar danos estruturais em pontos próximos à detonação. Podem ser medidos por aparelhos de registro contínuo chamados sismógrafos.

(e) Riscos de danos às instalações, estruturas, equipamentos e pessoal.

c. Medidas a tomar visando o controle ambiental

(1) Reconhecimento geológico do local;

(2) Estabelecimento de cargas iniciais adequadas e mínimas;

(3) Não direcionar a frente de detonação para áreas habitadas;

(4) Escolha adequada dos acessórios de detonação;

(5) Uso de retardos adequados; e

(6) Estabelecimento de um programa de monitoramento das vibrações e da sobrepressão atmosférica;

d. A fragmentação pode ser melhorada nos seguintes aspectos:

(1) Menor espaçamento entre os furos;

(2) Menor afastamento;

(3) Furos mais rasos ou melhor distribuição da carga dentro do furo;

(4) Maior controle e supervisão na perfuração;

(5) Uso de maiores tempos de retardo;

(6) Uso de explosivos mais energéticos.

d. Desvios dos resultados

(1) Grande quantidade de matacões

(a) Origem dos matacões:

1) Tampão muito grande; e

2) Afastamento excessivo.

(b) Correção do problema - deve-se realizar uma detonação secundária utilizando os seguintes métodos:

1) Método do fogacho;

2) Método “João de barro”; e

3) Método do “buraco de cobra”.

(2) Aparecimento de repé

(a) Origem do repé

1) Insuficiente sub-furação;

2) Ângulo de inclinação pequeno; e

3) Carga de fundo baixa.

(b) Correção do problema - deve-se realizar uma detonação secundária de forma a retirar o repé para a próxima detonação na bancada. A existência de repé prejudicará sobremaneira os efeitos desejados para um desmonte em rocha, pois servirá como um entrave na fragmentação da rocha.

(3) Acabamento imperfeito da face

Em alguns tipos de desmonte, como corte em uma estrada, é indispensável que a bancada tenha um perfeito acabamento.

(a) Origem da imperfeição - saliências e reentrâncias na face.

(b) Correção prévia do problema - desmonte escultural.

10. FALHAS DE DETONAÇÃO

a. Generalidades

O responsável pelo desmonte em rocha deve assegurar que todos os procedimentos de montagem e segurança foram perfeitamente executados a fim de evitar a ocorrência de falhas. O aparecimento de uma falha em qualquer parte da detonação, pelos riscos que envolve, requererá pessoas muito experientes para solucioná-la.

b. Prováveis causa de falha

Verificada a falha, o responsável pelo desmonte deve analisar a possível causa da ocorrência da falha. Normalmente são as descritas abaixo:

(1) Escorva mal preparada;

(2) Explosivos não resistentes à água;

(3) Danos nos estopins e nos fios das espoletas;

(4) Falha no acendimento dos estopins; e

(5) Falha no circuito elétrico de iniciação.

c. Procedimentos em casos de falha

Após verificada a causa ou causas da falha no desmonte, o responsável pela detonação deve escolher as seguintes ações para solucioná-la:

(1) Realize a detonação de nova escorva por cima do tampão;

(2) Remoção ou furação do tamponamento lavando com água ou cavando com objeto de madeira;

(3) Introdução de um tubo através do tamponamento, auxiliado por um jato d´água, soprando o material acumulado no cano com ar comprimido;

(4) Execução de novos furos na frente e nos lados do furo não detonado com profundidade de 1,5 à 2,0 metros; ou

(5) Fazer novo furo completo próximo ao furo falhado.

11. OBTENÇÃO DE SUPERFÍCIES REGULARES

a. Método do pré-fissuramento ou pré-corte (Prespliting)

Antes da escavação principal, são feitos furos (como na perfuração linear) com pequeno espaçamento na linha limite de escavação, mas que são carregados e detonados antes, para produzir um fissuramento ao longo das linhas de perfuração. Os furos são carregados com cargas explosivas reduzidas Só funciona bem com desvios de perfuração menores que 15 cm no pé do furo. O melhor espaçamento é de 600 mm entre centros dos furos, e a carga de fundo de 60 a 90% da usada por metro linear na coluna. A partir da observação dos resultados, são feitos ajustes e correções. A Fig 7-25 mostra como é realizado este método. Os números exibidos na figura correspondem a sequência de detonação dos furos.

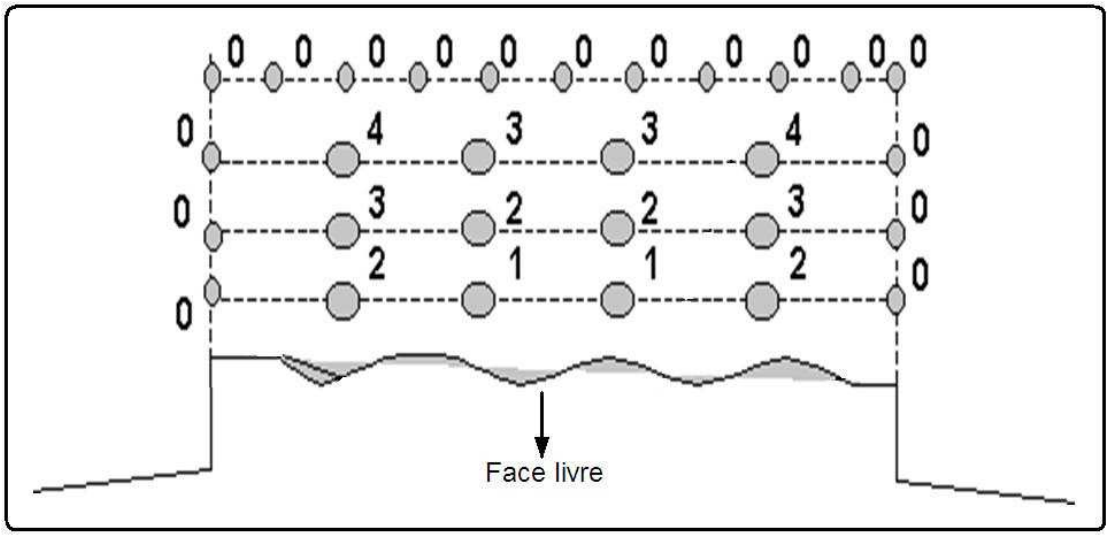


Fig 7-25. Método do pré-fissuramento ou pré-corte

b. Método da detonação amortecida (Smooth blasting)

Difere do pré-fissuramento pela detonação ocorrer após a carga principal A linha de perfurações ao longo da linha limite de escavação é feita com cuidado redobrado para evitar desvios, carregada (60 a 90 % da carga, no fundo) com explosivo leve e detonada com uma espera de atraso em relação às normais (ou após a retirada do material principal) . O desvio máximo permitido no pé da perfuração é de 15 cm. A profundidade depende da exatidão no alinhamento de furação.O diâmetro dos furos variam de 2a 6 ½ polegadas e o espaçamento de 1,20 a 2,70 m, proporcional ao diâmetro de furação. Quanto maior o diâmetro, maior a precisão do método. A Fig 7-26 exemplifica uma forma de realizar esse método. Os números exibidos na figura correspondem à sequência de detonação dos furos.

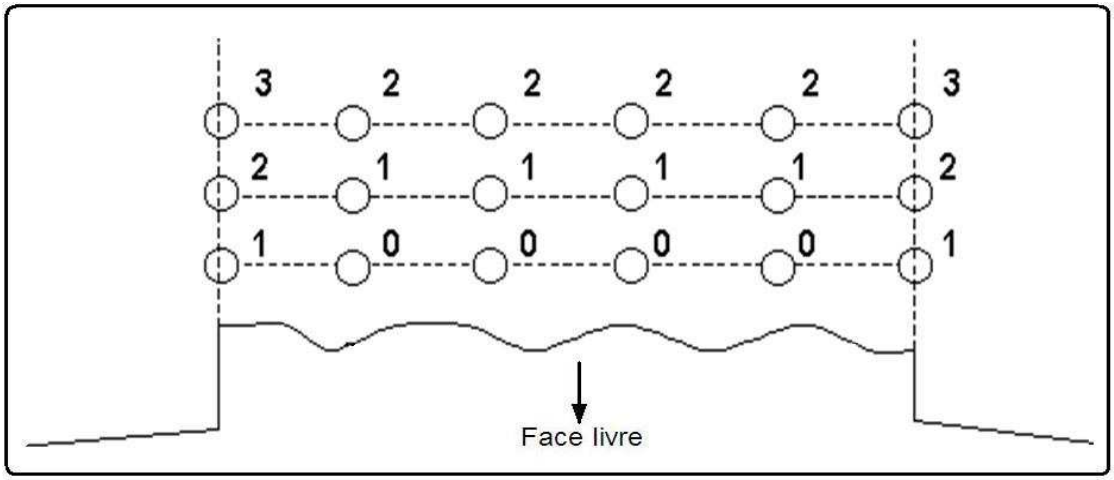


Fig 7-26. Método da detonação amortecida

c. Perfuração linear (line drilling)

Esse método funciona bem apenas em maciços homogêneos, sem planos de estratificação, fraturas ou veios. Requer muitos furos e é pouco econômica.

Deve-se executar uma linha de furos de pequeno diâmetro e espaçamento sobre a linha limite da escavação (Fig 7-27). Esses furos não são carregados, apenas enfraquecem o maciço, criando um plano enfraquecido de corte. Os furos devem possuir um diâmetro de 2 a 3 polegadas e o espaçamento de 2 a 4 vezes o diâmetro. A profundidade mais eficiente é limitada pelos desvios da perfuração: para os diâmetros de 2 a 3 polegadas e não deve ultrapassar 9 m. A última linha de furos do plano de fogo deve apresentar espaçamento menor que as outras, e as duas últimas detonadas após as demais.

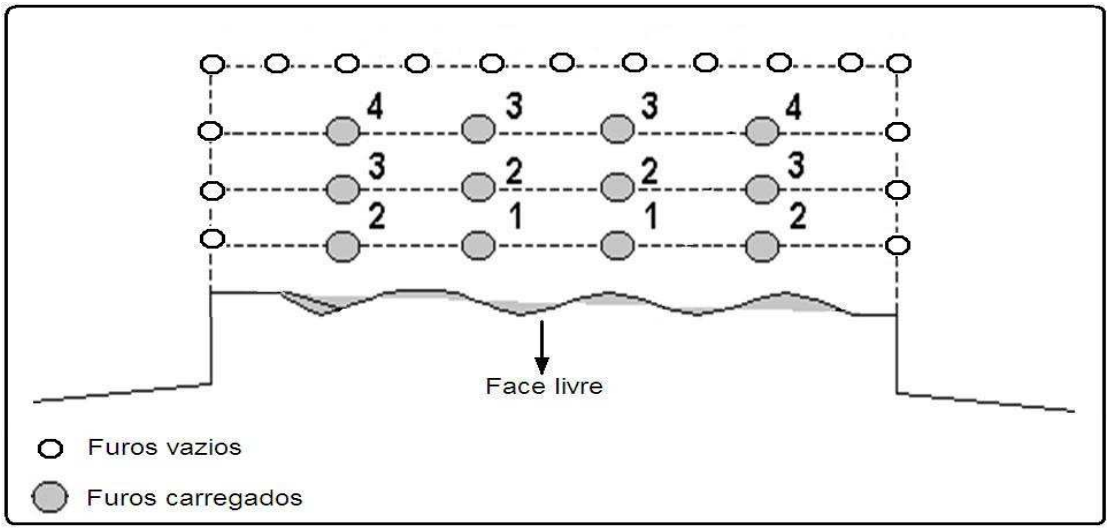


Fig 7-27. Método de perfuração linear

12. DESMONTE DE ROCHA EM TÚNEIS

a. Generalidades

A abertura de um túnel pode ser realizada com a mesma técnica de desmonte de rocha ou com auxílio de uma auto-perfuratriz de grande diâmetro (Fig 7-28), que dispensa o uso de explosivos. Este artigo tem por finalidade somente apresentar os conhecimentos básicos para execução de um desmonte de rocha em túneis e não visa esgotar o assunto. A realização dessa atividade requer um maior aprofundamento, o que não é objetivo deste manual.

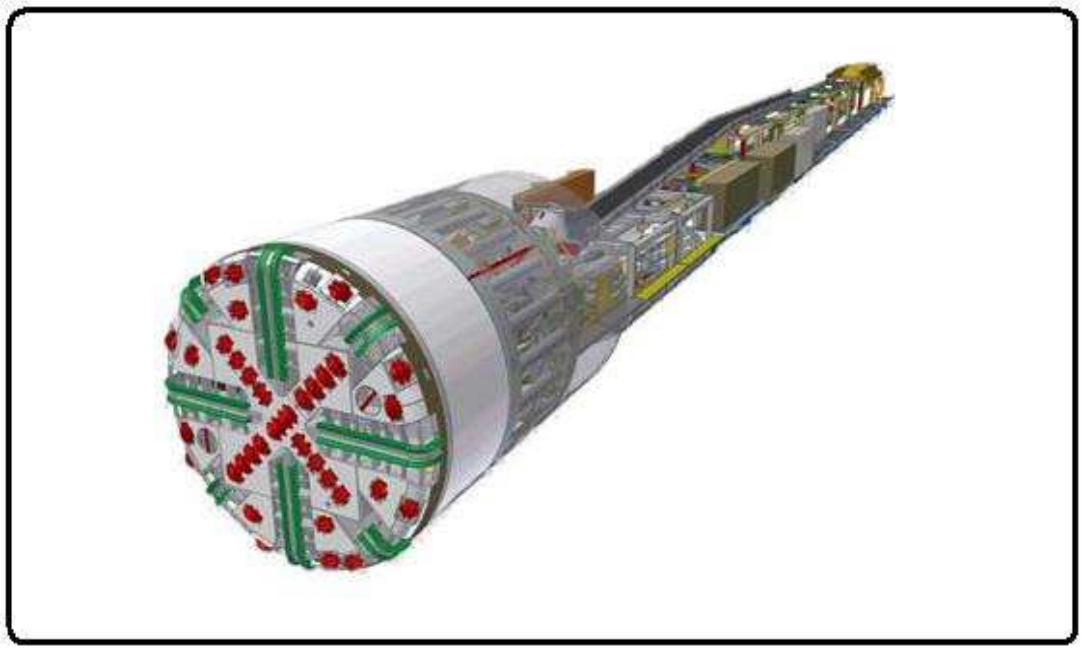


Fig 7-28. Auto-perfuratriz de grande diâmetro.

b. Aberturas subterrâneas

O aproveitamento do subsolo tanto para obras públicas como na mineração, exige realização de túneis, galerias, poços etc. Existem duas razões para a escavação subterrânea:

(1) Utilização do espaço escavado. Exp: transporte (metrô); e

(2) Uso do material escavado. Exp: operações mineiras (carvão).

c. Ciclo básico de escavações

Esse ciclo compõe-se das seguintes operações:

(1) Perfuração dos furos;

(2) Carregamento dos furos;

(3) Detonação da rocha;

(4) Batimento do choco (blocos semissoltos no teto) e paredes laterais;

(5) Reforço da parede interna da rocha se necessário;

(6) Equipagem da frente desmontada (ventilação, água, ar comprimido e energia); e

(7) Carregamento e transporte do material desmonte.

d. Execução do desmonte

(1) Generalidades

O principal diferencial entre as detonações em bancadas a céu aberto e

as subterrâneas é a questão das faces livres. Como nas operações subterrâneas não existe uma face livre inicial será preciso criá-la artificialmente para tornar o desmonte racional.

(2) Formas de abordagem

(a) Seção plena - consiste em escavar toda a seção requerida do túnel progressivamente, isto é o túnel vai aos poucos ampliando seu comprimento até o fim. Este método proporciona maior rapidez, porém pode ocorrer o risco de comprometimento por falhas da detonação.

(b) Método do túnel piloto - primeiramente é realizada a abertura completa de um túnel piloto de menor diâmetro e em seguida é efetuado o alargamento utilizando um desmonte por bancada.

(3) Criação do pilão

(a) Generalidades

O pilão consiste em uma abertura criada na cabeceira e no sentido do eixo, através da perfuração e detonação, preliminarmente ao desmonte principal (Fig 7-29). Tem por objetivo criar uma face livre contra a qual será efetuado o desmonte. Será localizado, de preferência, o mais baixo possível. Os furos serão carregados com explosivos seguindo uma taxa de 7 a 8 kg/m^3. Existem diversos tipos de pilões conforme a distribuição dos furos.

(b) Tipos de pilão

1) Pilão queimado - é o mais utilizado na abertura de túneis e galerias e assim chamado porque um ou mais furos não são carregados servindo de ponto de concentrações de tensões.

2) Pilão “coromant” - utiliza um gabarito que possibilita executar todos os furos através de perfuratrizes manuais, sendo todos os furos paralelos.

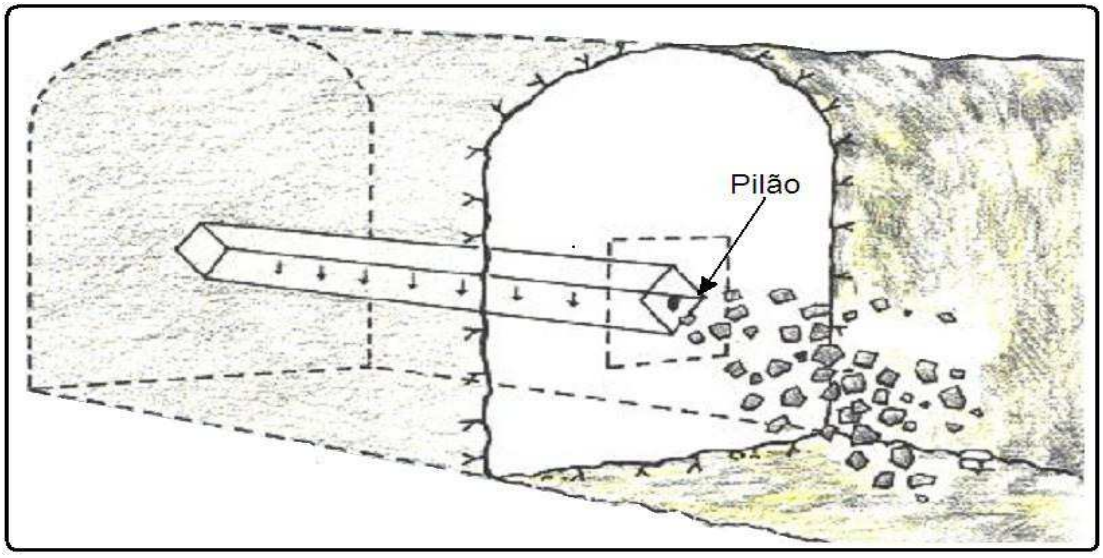


Fig 7-29. Criação de um pilão para construção de túnel

(3) Alargamento

(a) Generalidades

Após a detonação do pilão, que fornecerá uma face livre, será realizado o alargamento do túnel. Deve-se montar um sistema que proporcione uma fragmentação satisfatória e uma disposição conveniente disposição do entulho resultante.

(b) Furação

É executada seguindo um diagrama de posição dos furos, que devem ser paralelos ao sentido do túnel (Fig 7-30). A técnica de furação é semelhante à do desmonte a céu aberto, sendo executada com perfuratrizes.

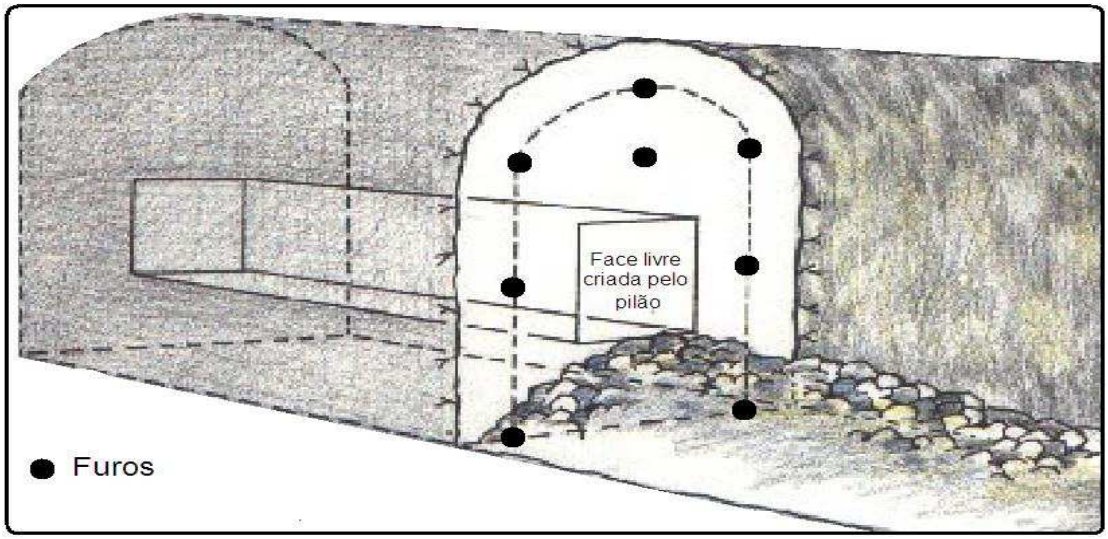


Fig 7-30. Esquema de furação em um túnel

(c) Contorno

A carga explosiva deve ser dimensionada para que a pressão de detonação sobre as paredes dos furos seja inferior à resistência à compressão da rocha, de modo a não criar trincas em todas as direções. Os furos devem ter como espaçamento cerca de dez vezes o tamanho do seu diâmetro. O afastamento será 0,5 a 0,8 vezes o espaçamento.

(d) Carregamento dos explosivos

Seguem as mesmas diretrizes dos planos de fogo a céu aberto, porém com algumas adaptações. As cargas de fundo possuem um tamanho maior em detrimento as cargas de coluna, que possuem uma extensão menor. Os explosivos normalmente utilizados são as gelatinas, que possuem uma maior resistência a água e uma menor produção de gases tóxicos. A taxa de carregamento explosivos nos furos será de 0,8 a 1,2 kg/m^3. A taxa de carregamento dos furos do contorno deve ser menor que 400g/m^3.

Conteúdo extraído dos seguintes manuais:

- BRASIL. Estado-Maior do Exército. **C 5-25: Explosivos e destruições**. 2ª Ed. Brasília: EGGCF, 1991.
- BRASIL. Estado-Maior do Exército. **C 5-34: Vade-Mécum de Engenharia**. 3ª Ed. Brasília: EGGCF, 1996.
- BRASIL. Estado-Maior do Exército. **T 9-1903: Armazenamento, conservação, transporte e destruição de munições, explosivos e artifícios**. 1ª Ed. Brasília: EGGCF, 1970.
- BRASIL. Diretoria de Material de Engenharia. **Boletim Técnico Especial Nr 4: Normas de emprego e manuseio de cargas explosivas e dispositivos acionadores**. Brasília, 1983.
- BRASIL. Academia Militar das Agulhas Negras. **Apostila de explosivos e destruições do Curso Avançado**. Editora

acadêmica.
- BRASIL. Academia Militar das Agulhas Negras. **Vade-Mécum de OT do Curso de Engenharia**. Editora Acadêmica.
- BRASIL. Academia Militar das Agulhas Negras. **Apostila de Explosivos e destruições do Curso de Engenharia**. Editora acadêmica.
- ATHAYDE, ALCIO AUGUSTO CARPES. **Instruções sobre desmonte de rocha no Instituto Militar de Engenharia**. Instituto Militar de Engenharia, 2008.

CAPÍTULO 8
DESTRUIÇÃO DE MUNIÇÕES

1. GENERALIDADES

a. Princípios das armas de fogo

Para realizar a destruição de engenhos falhados é importante conhecer o funcionamento das armas de fogo. Quase todas se baseiam em um mesmo conceito simples: aplica-se um explosivo de projeção sob pressão atrás de um projétil para lançá-lo através de um cano. A mais antiga e simples aplicação dessa idéia é o canhão (Fig 8-1).

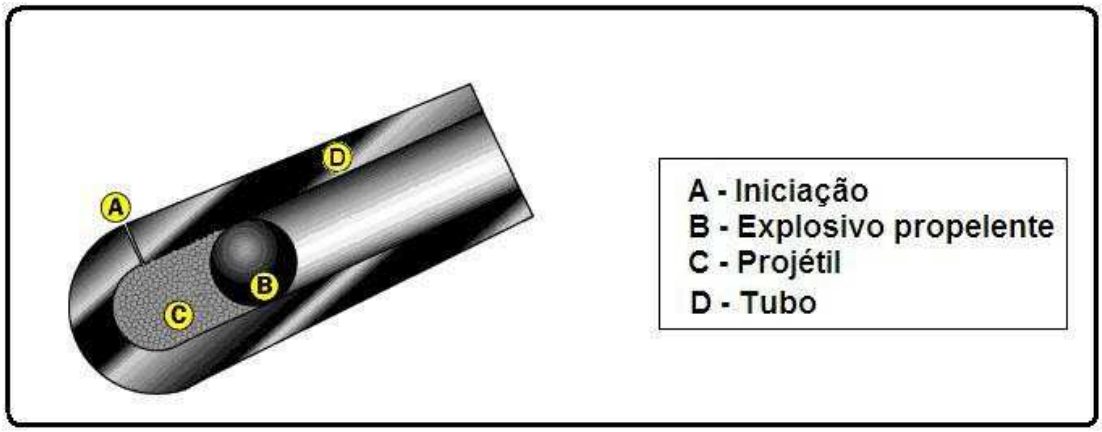


Fig 8-1. Partes de um canhão

b.Características das pólvoras

É o elemento responsável pela impulsão do projétil. Devido às suas características, normalmente queima. A queima gera pequeno deslocamento de ar e grande temperatura. Somente queima sob iniciação térmica. Atuam como elementos propelentes dos projéteis.

c.Características dos explosivos

Como definição básica, os explosivos são substâncias que, quando convenientemente iniciadas apresentam uma decomposição química muito rápida (grande velocidade de transformação). Possuem alto poder explosivo e brisância elevada. Normalmente são componentes internos do projétil.

d. Munições

(1) Armamento leve

São as munições de menor tamanho, em que geralmente somente possuem o explosivo propelente. O projétil quando expelido do armamento não possui carga explosiva, não produzindo dessa forma engenhos falhados.

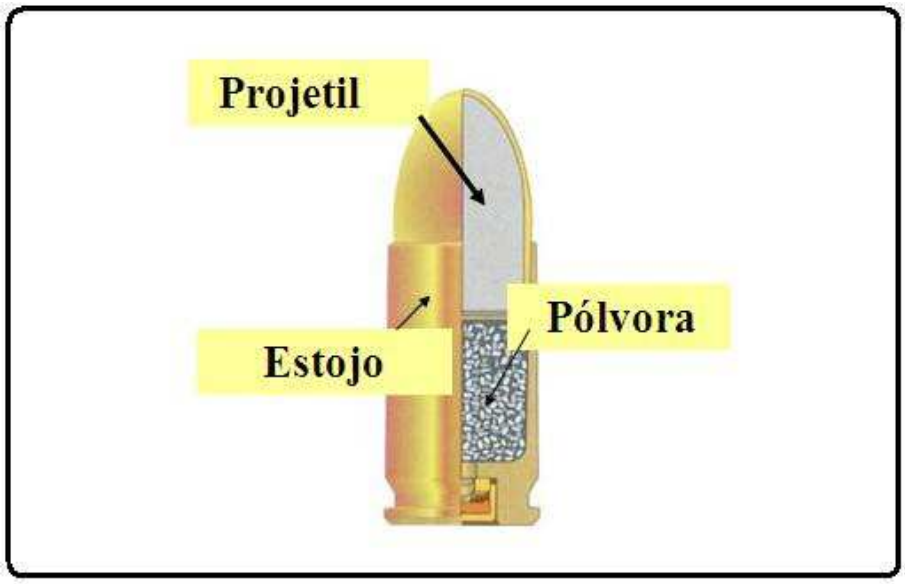


Fig 8-2. Munição de armamento leve

(2) Armamento pesado Fig 8-3)

De uma maneira geral, o efeito de uma munição de armamento pesado depende do composto químico de seu interior (Fig 8-4 e 8-5). De acordo com sua composição e quantidade de alto explosivo as munições podem ter características anti-pessoal ou anti-carro. Somente munições de armamento pesado geram engenhos falhados.

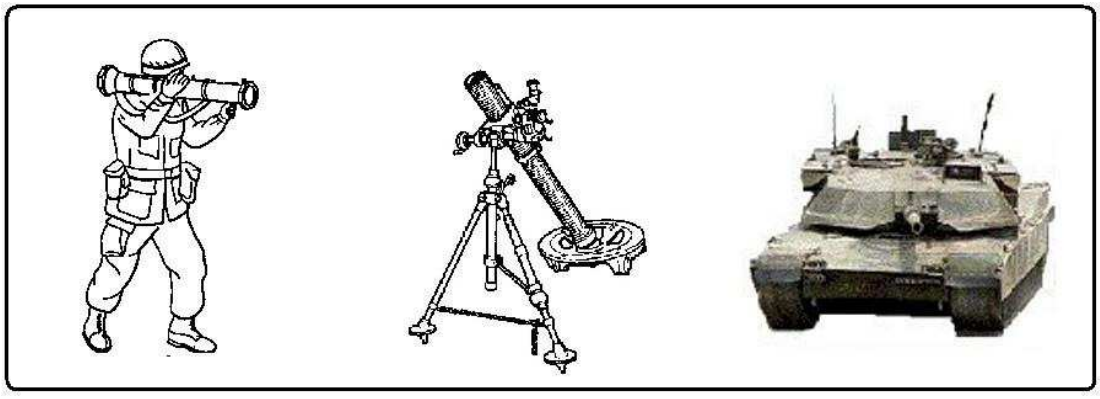


Fig 8-3. Tipos de armamento pesado

Fig 8-4. Efeitos da munição de armamento pesado

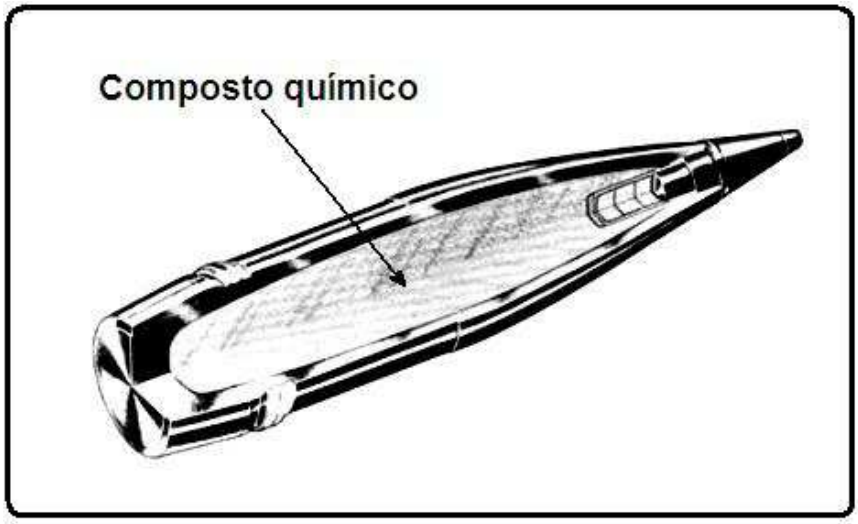


Fig 8-5. Interior de uma munição de armamento pesada

2. ENGENHOS FALHADOS

a. Definição

Engenho falhado é toda munição atirada por uma boca de fogo, toda granada arremessada pelo combatente, toda mina ou armadilha acionada, mas que por um fator adverso qualquer, deixaram de completar o seu encadeamento explosivo. As munições de armamento pesado são as que normalmente originam engenhos falhados, embora também possamos encontrar munições de calibres menores com função explosiva, transformando-se em “tijolo quente”.

b. Identificação do engenho falhado

(1) Generalidades

A perfeita identificação do engenho falhado permitirá que o planejamento de sua destruição seja feita da maneira a **economizar** o máximo de **recursos** com o dispêndio do **mínimo de tempo**, **sem** colocar em **risco** a integridade física do pessoal e material. Para isso siga os procedimentos prescritos abaixo.

(2) Método básico de identificação

(a) Generalidades

Este método consiste em identificar no objeto falhado as seguintes características na sequência: formato, calibre, cor e inscrições.

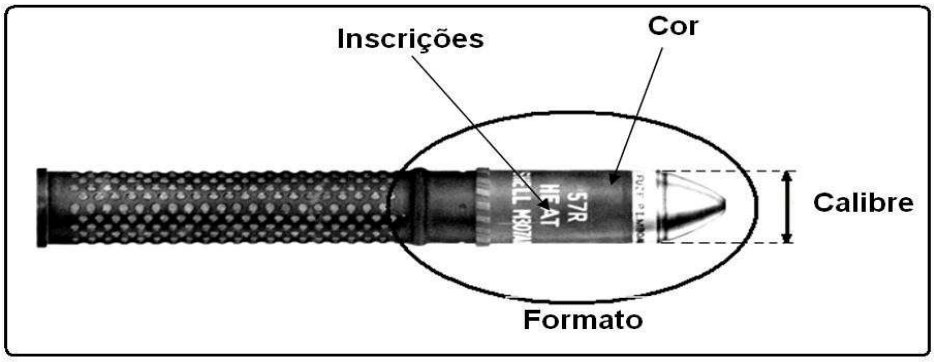


Fig 8-6. Características da munição

(b) Formato

Varia de acordo com o tipo, armamento e emprego. Para melhor identificá-la veja o parágrafo 8-2. b. (3) deste capítulo.

(c) Calibre

Varia de acordo com o tipo, armamento e emprego. Para melhor identificá-lo veja o parágrafo 8-2. b. (3) deste capítulo.

(d) Cor (Tab 8-1)

Normalmente as cores indicativas são:

Cor	Efeito
Verde	Fumígena
Azul	Exercício
Verde-Oliva	Alto-explosiva
Branca	Iluminativa
Amarela	Iluminativa

Tab 8-1. Identificação de munição pela cor

(e) Inscrições

As inscrições geralmente encontradas nas munições são (Tab 8-2):

Inscrição	Significado	Tradução
HE	High Explosive	Alto-Explosiva
HE - T	High Explosive Tracer	Alto-Explosiva Traçante
SMK	Smoke	Fumígenas
TP	Training Practice	Exercício
WP	White Phosphorus	Incendiária
HEAT	High Explosive Anti Tank	Alto-Explosiva Anti-Carro
AP	Armor Piercing	Perfurante
AP I	Armor Piercing Incendiary	Perfurante Incendiária

ILL	Illuminating	Iluminativa
APDS	Armor Piercing Discarding Sabot	Perfurante de cintas de turgência descartáveis
APDSFS	Armor Piercing Discarding Sabot Fin Stabilized	Perfurante de cintas de turgência descartáveis com aleta estabilizadora
FUZE	Espoleta	-
AP	Anti-pessoal	-
AC	Anticarro	-

Tab 8-2. Identificação de munição pelas inscrições

Essas inscrições podem ser encontradas nas munições de acordo com a Fig 8-7.

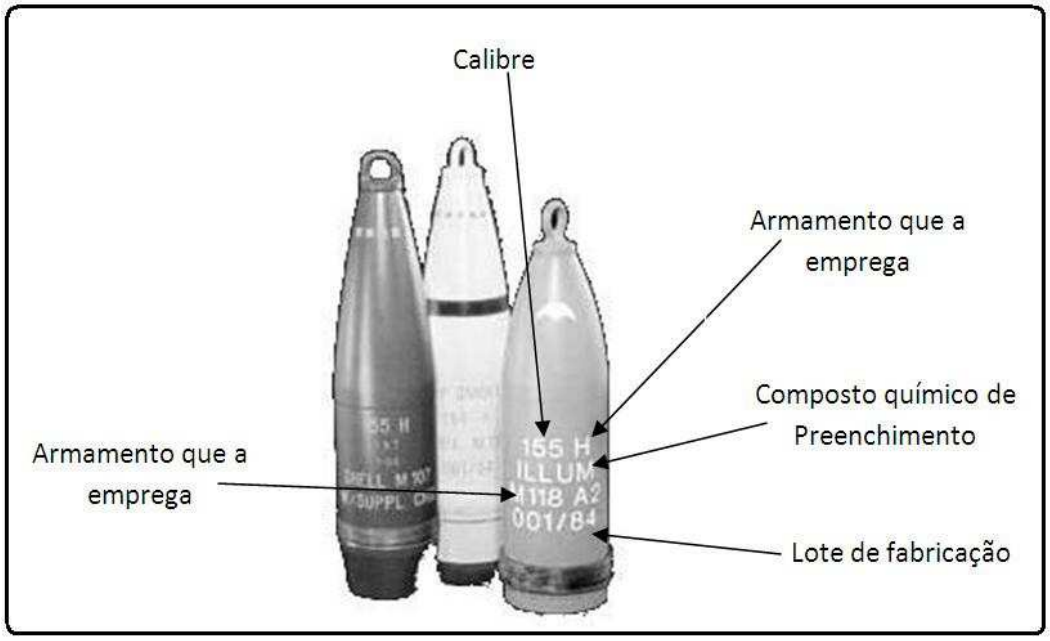


Fig 8-7. Disposição das inscrições nas munições

(3) Identificação das munições

As munições de armamento pesado do Exército Brasileiro podem ser:

(a) Morteiros

1) Identificação do armamento (Fig 8-8)

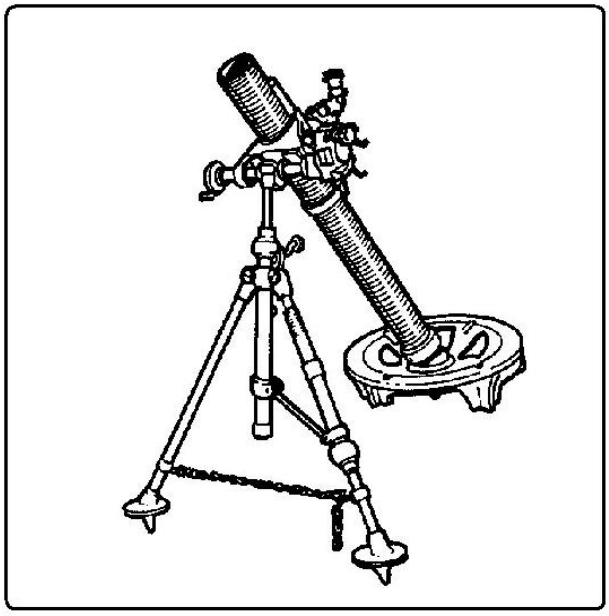


Fig 8-8. Morteiro 81mm

2) Tipos de munição de morteiro (Fig 8-9)

a) Alto-explosiva (HE) - usada contra pessoal e viaturas blindadas leve.

b) Fumígenas - normalmente a base de WP (White Phosphorus – Fósforo branco), usada para lançamento de cortinas de fumaça.

c) Iluminativas - composta de uma vela pirotécnica e um paraquedas.

d) Exercício - tem o mesmo formato da HE, porém tem apenas uma carga de sinal.

e) Manejo - totalmente inerte, é utilizada para no adestramento da tropa.

3) Calibres em uso no EB

a) 60 mm;

b) 81 mm;

c) 120 mm; e

d) 4,2 pol (107 mm).

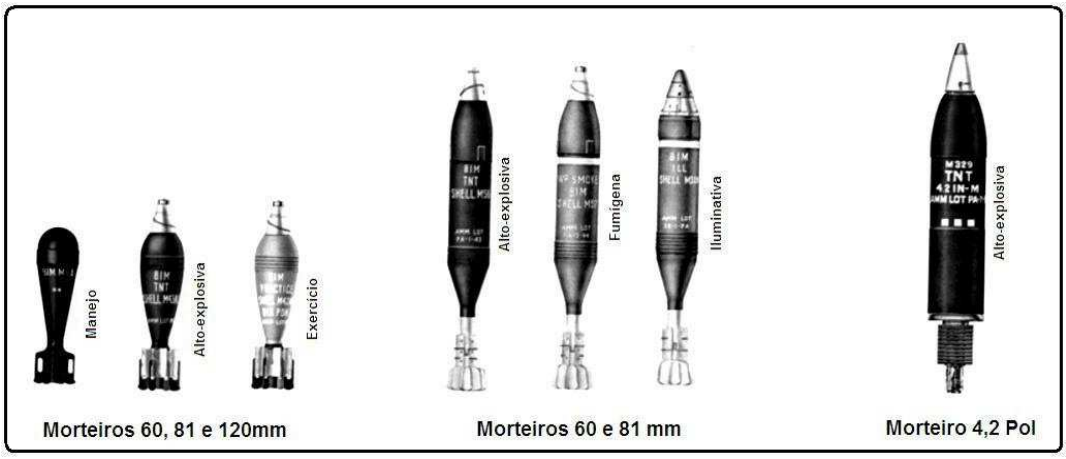


Fig 8-9. Exemplos de munições de morteiro

4) Formatos mais comumente encontrados

Ver Fig 8-9.

(b) Obuseiros

1) Identificação do armamento (Fig 8-10)

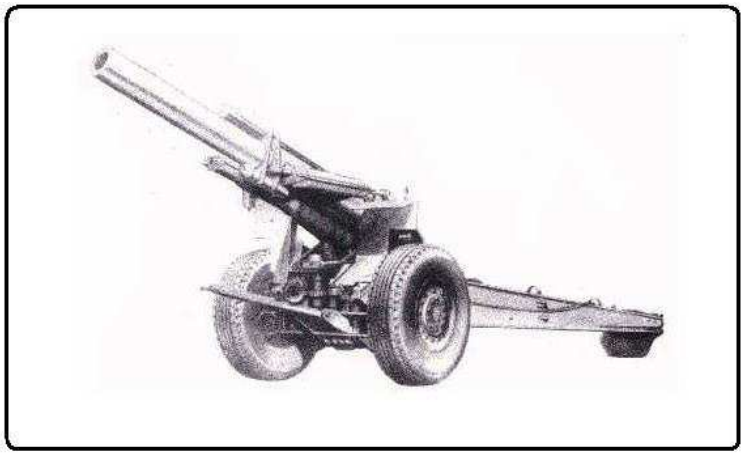


Fig 8-10. Obuseiro 155 mm

2) Tipos de munição de obuseiro (Fig 8-11)

As granadas de obuseiro são classificadas de acordo com a finalidade de seu composto químico principal:

a) Alto-explosiva (HE);

b) Fumígenas;

c) Iluminativas;

d) Incendiárias;

e) Químicas; e

f) Anti-carro.

Fig 8-11. Exemplos de granadas de obuseiro

3) Calibres em uso no EB

a) 105 mm; e

b) 155 mm.

4) Formatos mais comumente encontrados

Ver Fig 8-10.

(c) Canhões sem recuo (CSR)

1) Identificação do armamento (Fig 8-12)

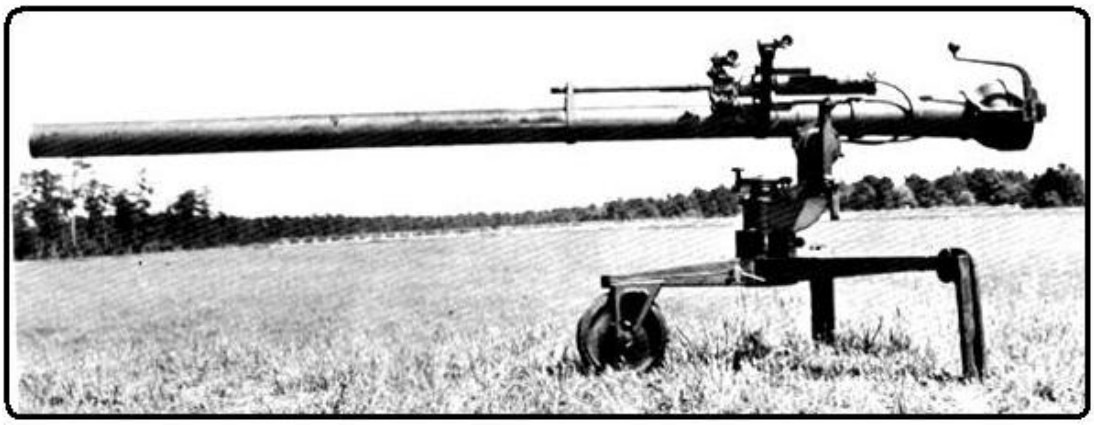


Fig 8-12. Canhão sem recuo 106 M40 A1

2) Tipos de munição de canhão sem recuo (Fig 8-13)

a) Os canhões sem recuo são de múltiplo emprego, o que origina diversos tipos de granadas.

b) As granadas anti-carro dos CSR são estabilizadas por aletas, o que lhe dá uma aparência inconfundível.

c) Já as munições fumígenas, alto-explosivas e iluminativas são parecidas com as granadas de artilharia.

Fig 8-13. Exemplos de granadas de canhão sem recuo

3) Calibres em uso no EB

a) 84 mm (CSR 84 M3 Carl Gustaf); e

b) 106 mm (CSR 106 M40 A1).

c) Embora esteja obsoleto e não mais em uso, munições do CSR 57mm ainda são encontradas nos diversos Campos de Instrução, devido a sua não localização por ocasião do tiro, só vindo a ocorrer depois de passado algum tempo.

4) Formatos mais comumente encontrados (Fig 8-14)

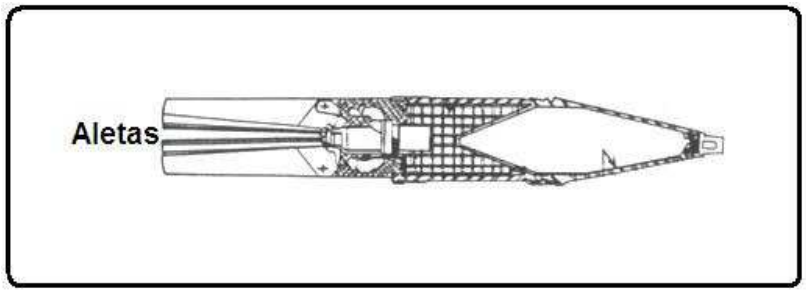


Fig 8-14. Formato peculiar da granada de CSR

(d) Carros de combate

1) Identificação do armamento (Fig 8-15)

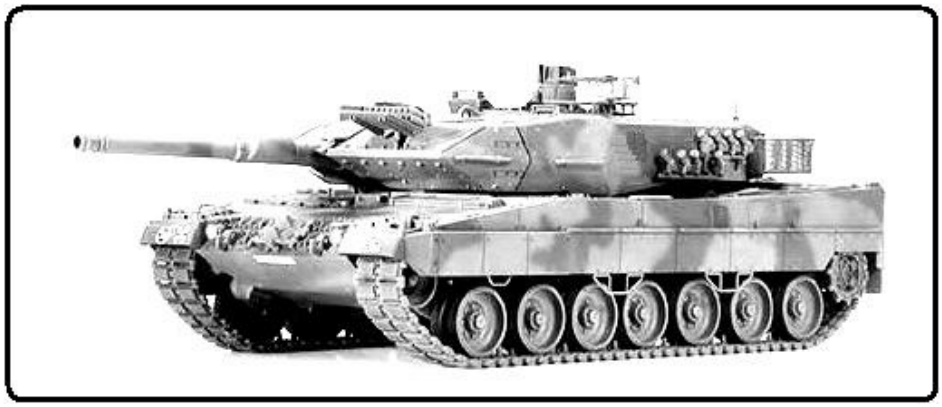


Fig 8-15. Carro de combate Leopard

2) Tipos de munição de carros de combate (Fig 8-16)

As munições utilizadas pelos canhões das viaturas blindadas nesse calibre são dos seguintes tipos:

a) Alto-explosivas (HE);

b) Fumígenas (SMK);

c) Incendiárias; e

d) Anti-carro(HESH, HEAT).

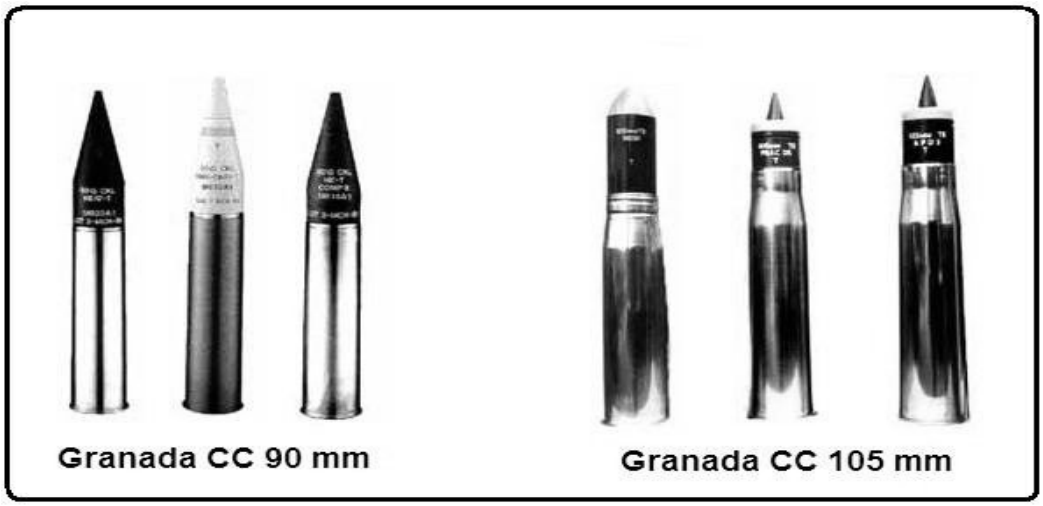


Fig 8-16. Munição de CC

3) Calibres em uso no EB

a) 90 mm (VBC M41 Caxias e VBR EE 9 Cascavel); e

b) 105 mm (VBC Leopard 1A1 e VBC M60 A3 TTS).

4) Formatos mais comumente encontrados

Ver Fig 8-16.

(e) Granadas de bocal

1) Identificação do armamento (Fig 8-17)

A granada de bocal é acoplada na boca do cano dos fuzis, sendo projetada pela ação de uma munição sem projétil e com reforço de pólvora.

Fig 8-17. Fuzil Automático Leve (FAL)

2) Tipos de munição de granada de bocal (Fig 8-18)

a) Granada de Bocal Anti-Pessoal AE;

b) Granada de Bocal Anti-Carro AE; e

c) Granada de Bocal AP e AC de exercício.

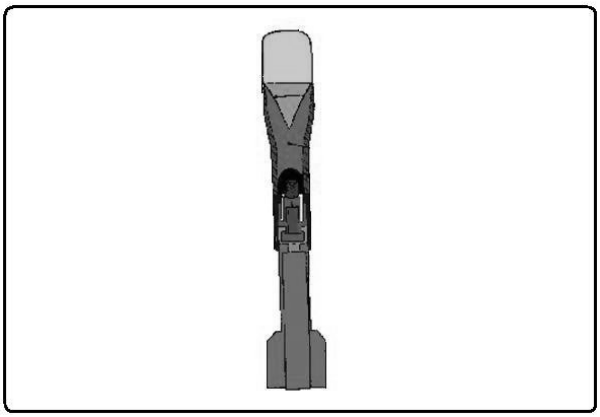


Fig 8-18. Exemplo de Granada de Bocal (Gr B AP AE)

3) Calibres em uso no EB

a) 40 mm (AP).

b) 65 mm (AC).

4) Formatos mais comumente encontrados

Ver Fig 8-18.

(f) Rojões

Embora em desuso ainda são possíveis de serem encontrados nos diversos campos de instrução. A diferença mais marcante que os diferencia das Gr Bc é a presença de um tubo venturi em sua extremidade à retaguarda por onde saem os gases impulsores.

3. DESTRUIÇÃO DE ENGENHOS FALHADOS

a. Generalidades

De acordo com o manual T9 1903 (ARMAZENAMENTO, CONSERVAÇÃO, TRANSPORTE E DESTRUIÇÃO DE MUNIÇÕES, EXPLOSIVOS E ARTIFÍCIOS), as granadas falhadas serão destruídas mediante ordem da autoridade detentora do material, independentemente, de ordem dos órgãos técnicos superiores

b. Procedimentos ao encontrar um engenho falhado

(1) Medidas passivas - são medidas que devem ser tomadas por pessoal no primeiro contato com o engenho falhado. Estas medidas são:

(a) Balizar a área do engenho;

(b) Alertar a autoridade responsável pela área;

(c) Não tocar no engenho; e

(d) Mobiliar uma guarda.

(2) Medidas ativas - são medidas que só devem ser executadas por pessoal especializado, como por exemplo, a Turma de Levantamento e Destruição de

Engenhos Falhados (TuLeDEF) . Essas medidas são:

(a) Neutralizar - separar os componentes da cadeia explosiva, impedindo o acionamento da carga explosiva. Deve-se evitar ao máximo o desmonte de um tiro de munição falhada

(b) Remover - operação de altíssimo risco que só deve ser efetuada quando a destruição não puder ser efetuada no local.

1) Não se deve remover:

a) Engenhos falhados espoletados;

b) Artefatos desconhecidos; e

c) Em caso de dúvida.

2) Se a remoção for inevitável:

a) Deve-se utilizar roupas especiais;

b) Transportar o engenho sempre na horizontal;

c) Acondicionar em uma caixa com areia; e

d) Transportar até o local mais próximo para a destruição.

(c) Destruir - é a operação (medida de segurança) mais comumente executada em casos de engenhos falhados. O processo usado é a detonação usando qualquer processo de lançamento de fogo. Usa-se sacos de terra (ou areia) como enchimento.

c. Destruição dos engenhos falhados

(1) Generalidades

Depois de realizada a correta identificação do engenho falhado inicia-se a destruição. Caso, por motivo de segurança, não seja possível realizar a destruição no local, remova o engenho falhado, seguindo as medidas descritas no parágrafo anterior, e realize sua destruição em um local seguro. Os procedimentos específicos para destruição de cada tipo de munição estão descritos no T 9-1903.

(2) Quantidade de carga

As cargas explosivas a serem utilizadas também variam com o calibre da munição a ser destruída. O explosivo utilizado para a destruição deve ser um alto explosivo, geralmente o TNT. As quantidades a serem utilizadas serão de acordo com a Tab 8-3.

Calibre da munição a ser destruída	Quantidade de TNT (kg)
Gr M, Gr Bc, Rj e Mun até 57 mm	250g
Mun até 88 mm	500g
Mun até 120 mm (6,0 pol)	750 a 1000g
Mun até 280 mm (8,0 pol)	1.250g
Mun 305 mm	1.500g

Tab 8-3. Quantidade de carga para destruição de engenho falhado

(2) Colocação das cargas

As munições falhadas nos campos de tiro, tais como projéteis, espoletas, granadas etc, poderão ser destruídas no próprio local por petardos de destruição. Os petardos serão colocados na cabeça das munições, onde normalmente concentra-se

a maior parte do explosivo. As ilustrações abaixo mostram a disposição correta das cargas explosivas junto às granadas a serem destruídas.

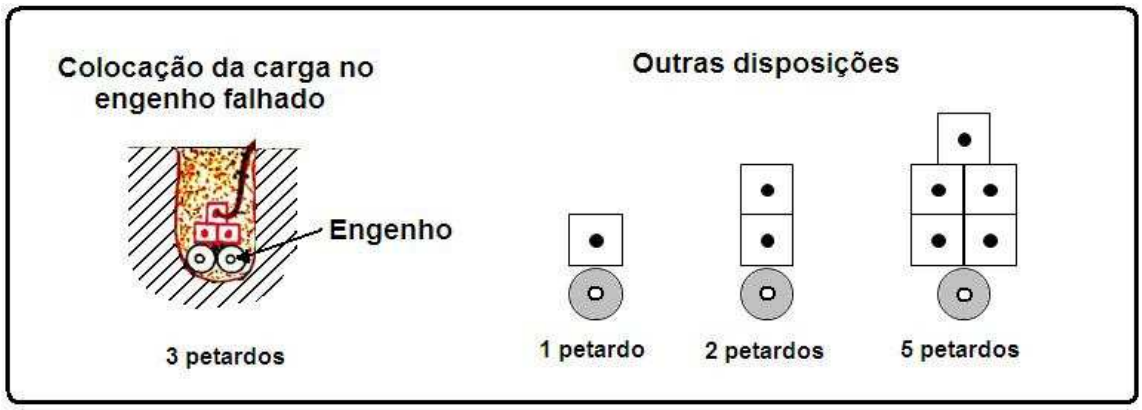


Fig 8-19. Colocação da carga para destruição de engenho falhado

(3) Procedimentos na preparação da carga

(a) Escorvar sempre o petardo superior (onda explosiva de cima para baixo).

(b) Nunca coloque os petardos sob a munição a ser destruída. Isto pode causar acidentes gravíssimos.

(c) Depois de colocada a carga, as munições deverão ser circundadas por sacos de areia ou de terra, para limitar o alcance dos estilhaços.

(4) Procedimentos de segurança

Ver Capítulo 9.

Conteúdo extraído dos seguintes manuais:

- BRASIL. Estado-Maior do Exército. **C 5-25: Explosivos e destruições**. 2ª Ed. Brasília: EGGCF, 1991.
- BRASIL. Estado-Maior do Exército. **C 5-34: Vade-Mécum de Engenharia**. 3ª Ed. Brasília: EGGCF, 1996.
- BRASIL. Departamento Logístico. **R 105: Regulamento para a Fiscalização de Produtos Controlados**. 1ª Ed. Brasília: EGGCF, 2001.
- BRASIL. Estado-Maior do Exército. **T 9-1903: Armazenamento, conservação, transporte e destruição de munições, explosivos e artifícios**. 1ª Ed. Brasília: EGGCF, 1970.
- BRASIL. Diretoria de Material de Engenharia. **Boletim Técnico Especial Nr 4: Normas de emprego e manuseio de cargas explosivas e dispositivos acionadores**. Brasília, 1983.
- BRASIL. Academia Militar das Agulhas Negras. **Apostila de explosivos e destruições do Curso Avançado**. Editora acadêmica.
- BRASIL. Academia Militar das Agulhas Negras. **Vade-Mécum de OT do Curso de Engenharia**. Editora Acadêmica.
- BRASIL. Academia Militar das Agulhas Negras. **Apostila de Explosivos e destruições do Curso de Engenharia**. Editora acadêmica.

CAPÍTULO 9

SEGURANÇA NO MANUSEIO, TRANSPORTE, ARMAZENAMENTO, UTILIZAÇÃO E DESTRUIÇÃO DOS EXPLOSIVOS

1. PRECAUÇÕES GERAIS DE SEGURANÇA

a. Generalidades

(1) A segurança é muito importante quando se trabalha com explosivos.

(2) Os acidentes envolvendo explosivos são provocados, na maioria das vezes, pela NÃO observação de regras elementares de segurança concernentes no manuseio, transporte, armazenamento, utilização e destruição dos explosivos, uma vez que há procedimentos específicos a serem adotados para cada uma dessas atividades.

(3) Em tempo de paz, é imperativa a observação das regras de segurança.

(4) Em operações, nem sempre é possível segui-las com tanto rigor. Mesmo assim, devem ser aplicadas sempre que os prazos e os meios o permitam

b. Normas gerais de segurança

(1) Generalidades

As normas de segurança estabelecidas pelo Exército Brasileiro, que devem ser do conhecimento de todos que trabalham com explosivos, podem ser encontradas nos documentos descritos a seguir.

(2) R-105 - REGULAMENTO PARA A FISCALIZAÇÃO DE PRODUTOS CONTROLADOS, particularmente no:

(a) Capítulo XXVII - Normas sobre embalagem;
(b) Capítulo XXIX - Normas sobre transporte;
(c) Título XI – Depósitos; e
(d) Título XII – Destruição.

(3) T9-1903- ARMAZENAMENTO, CONSERVAÇÃO, TRANSPORTE E DESTRUIÇÃO DE MUNIÇÕES, EXPLOSIVOS E ARTIFÍCIOS, particularmente no:

(a) Capítulo 2, Art II - Explosivos;
(b) Capítulo 3 - Armazenagem;
(c) Capítulo 4 - Medidas de Segurança; e
(d) Capítulo 6 - Destruição de Explosivos e Munições.

(4) DIRETRIZES GERAIS DE INSTRUÇÃO (DGI/EME), Anexo A - (SEGURANÇA NA INSTRUÇÃO E NO SERVIÇO).

(5) BOLETIM TÉCNICO ESPECIAL / DME Nr 04, de Jul 83, particularmente no:

(a) Capítulo II - Manuseio, Armazenamento e Transporte de Explosivos;

(b) Capítulo IV - Instruções para a Destruição de Explosivos, Munições e Elementos Componentes;

(c) Capítulo V - Atividade de Destruição de Explosivos, Munições e Elementos Componentes;

(d) Capítulo VI – Instruções Reguladoras do Trato e Manuseio dos Explosivos .

(6) CADERNO DE INSTRUÇÃO C 32/1 (COTER) - Prevenção de Acidentes de Instrução.

(7) NORMAS ADMINISTRATIVAS RELATIVAS ÀS ATIVIDADES COM EXPLOSIVOS E SEUS ACESSÓRIOS (NARAExAc), de 07 Nov 05, particularmente no:

(a) Capítulo VII - Do Armazenamento; e

(b) Capítulo VIII - Do Tráfego e do Transporte.

(8) DECRETO 96.044, de 1988, do Ministério dos Transportes - Regulamenta o transporte rodoviário de produtos perigosos.

c. Distância de segurança

(1) Os estilhaços resultantes de material destruído por explosivos são arremessados, a maior ou menor distância, em função do peso, densidade, forma e ângulo de projeção. O estilhaçamento devido ao corte de peças metálicas atinge maiores distâncias em virtude da maior velocidade inicial imprimida, pela carga, aos estilhaços.

(2) A fórmula que fornece a distância de segurança, quando são utilizadas cargas superiores a 13,5 kg colocadas sobre o solo ou enterradas, é a seguinte:

$$\mathbf{D} = 100\sqrt[3]{2C}$$

Onde D = distância de segurança, em metros.

C= carga explosiva, em quilos.

(3) Em geral, o raio mínimo de segurança para pessoal desabrigado é de 300 metros e para pessoal abrigado é de 100 metros.

(4) O Anexo C (DISTÂNCIAS DE SEGURANÇA) fornece a distância mínima de segurança para o pessoal não abrigado contra estilhaços provocados pela explosão de cargas.

2. REGRAS DE SEGURANÇA QUANTO AO MANUSEIO DE EXPLOSIVOS

a. Documentos que tratam do assunto

(1) R-105, Capítulo XXVII, Art 194 a 197;

(2) T 9-1903, Capítulo 4, Prf 20 a 22;

(3) DGI/EME, Anexo A;

(4) Bol Tec Esp/DME Nr 04, de Jul 83, Cap 11, Pag 25; e

(5) Caderno de Instrução CI 32/1(Prevenção de Acidentes de Instrução).

b. Principais regras

(1) NUNCA manusear explosivos sem o devido cuidado ou distraidamente. NÃO deixar cair, NÃO jogar e NÃO impulsionar volumes de explosivos.

(2) NÃO permitir que se fume nas proximidades de explosivos.

(3) NÃO abrir caixas de explosivos dentro do paiol. NÃO usar ferramentas de metal para abrir os cunhetes; usar uma cunha de madeira, martelo de madeira ou borracha.

(4) NÃO deixar explosivo ou qualquer outro material usado no acondicionamento de explosivo em locais que possam ser alcançados por crianças, pessoal não autorizado, animais, viaturas ou equipamentos.

(5) NUNCA deixar explosivo abandonado. Deve sempre haver um guarda no local, ciente do perigo e das regras de segurança.

(6) NÃO conduzir explosivos nos bolsos, particularmente espoletas.

(7) NÃO deixar explosivos expostos ao sol, particularmente as espoletas.

(8) NÃO introduzir prego, arame ou outro instrumento na abertura das espoletas comuns, inclusive para retirá-las de sua caixa.

(9) NÃO arrancar os fios de uma espoleta elétrica.

c. Documentos de apoio a segurança

(1) O Anexo Q e R mostram, respectivamente, um exemplo de plano de segurança para detonação de cargas explosivas e um plano de gerenciamento de risco para essa atividade.

3. REGRAS DE SEGURANÇA QUANTO AO TRANSPORTE DE EXPLOSIVO

a. Documentos que tratam do assunto

(1) R-105, Capítulo XXIX;
(2) T 9-1903, Capítulo 4;
(3) DGI/EME, Anexo A;
(4) Bol Tec Esp/DME Nr 04, de Jul 83;
(5) Caderno de Instrução CI 32/1(Prevenção de Acidentes de Instrução);
(6) NARAExAc, Capítulo VII; e
(7) DECRETO 96.044, de1988, do Ministério dos Transportes.

b. Principais regras

(1) Verificar se a viatura que irá transportar o explosivo está em perfeitas condições quanto a sistemas e acessórios, principalmente:

(a) Freios, sistema elétrico e de direção;

(b) O piso não deve produzir centelha. Se for o caso, forrá-la com madeira ou com lona, antes de colocar o explosivo;

(c) Existência de cobertura para os explosivos;

(d) Existência de 02(dois) extintores de incêndio, sendo pelo menos um de pó químico (2 kg), e situados em local de fácil acesso e de conhecimento dos militares que estão na viatura; e

(e) Identificações refletivas nos seus quatro lados e bandeirolas vermelhas na frente e atrás da mesma.

(2) Cuidados no carregamento:

(a) A viatura deve estar freada com calços sob as rodas, motor e parte elétrica desligados, antes de iniciar a carga ou descarga;

(b) A viatura NÃO deve ser carregada além da sua capacidade permitida, ou acima das proteções laterais de sua carroceria;

(c) A carga deve ser bem arrumada e amarrada;

(d) Em princípio, o explosivo NÃO deve ser transportado em reboque;

(e) EVITAR transportar explosivo e espoletas ou detonadores numa mesma viatura. Se isto for necessário, as espoletas e detonadores devem ser transportados na cabine;

(f) As viaturas que transportam explosivos NÃO devem transportar qualquer outro tipo de material;

(g) NENHUM ser vivo deve ser transportado na carroceria da viatura, junto com os explosivos.

(3) Cuidados durante o deslocamento:

(a) O motorista deve estar sempre acompanhado por outro militar, na cabine da viatura;

(b) As viaturas devem ser acompanhadas por escolta em outra viatura e vigiadas quando estacionadas;

(c) EVITAR trajetos que possam ficar congestionados;

(d) PARAR em todos os cruzamentos;

(e) NUNCA estacionar a viatura próximo a escolas, hospitais, postos de abastecimento ou locais populosos; e

(f) A velocidade máxima autorizada é de 40 km/h. A autoridade que permite a saída da viatura poderá fixar a velocidade máxima a ser desenvolvida em cada trecho do itinerário, caso julgue conveniente, sem ultrapassar 40 km/h.

4. REGRAS DE SEGURANÇA QUANTO AO ARMAZENAMENTO DE EXPLOSIVOS

a. Documentos que tratam do assunto

(1) R-105, Título XI;

(2) T 9-1903, Capítulo 4;

(3) DGI/EME, Anexo A;

(4) Bol Tec Esp/DME Nr 04, de Jul 83, Cap 11; e

(5) NARAExAc, Capítulo VII.

b. Principais regras

(1) Observar as distâncias de segurança previstas no R-105 (distância de segurança dos paióis);

(2) NÃO armazenar explosivos em excesso em um mesmo local, ou próximo do local onde se vai utilizá-la;

(3) NÃO guardar outros materiais nos depósitos de explosivos;

(4) NÃO armazenar as espoletas e detonadores no mesmo local dos explosivos;

(5) Os explosivos NÃO deverão ficar expostos ao tempo (umidade ou raios solares) por período maior do que o absolutamente necessário;

(6) NÃO permitir o acúmulo de qualquer produto que facilite a propagação de fogo (folhas, arbustos, detritos) num raio mínimo de 10 metros do paiol. Levantar cerca ao redor desta área, delimitando-a.

(7) NÃO armazenar explosivos próximo a locais habitados ou estacionamento.

(8) NÃO fumar, não acender fósforos ou fogueira próximo a explosivos; e

(9) Paióis provisórios:

(a) adotar todas as regras de segurança que sejam passíveis de serem observadas.

(b) podem ser utilizados como paióis provisórios:

- câmara escavada, em talude seco, revestida de madeira;

- barraca de lona em local isolado e seguro; ou

- casa ou barracão isolado.

5. REGRAS DE SEGURANÇA QUANTO À UTILIZAÇÃO DE EXPLOSIVOS

a. Documentos que tratam do assunto

(1) DGI/EME, Anexo A;

(2) Bol Tec Esp/DME Nr 04, de Jul 83, Cap 11, Pag 30 a 33; e

(3) Caderno de Instrução CI 32/1(Prevenção de Acidentes de Instrução).

b. Principais regras

(1) Obedeça às distâncias de segurança previstas no Anexo C (DISTÂNCIAS DE SEGURANÇA);

(2) Próximo ao local onde estiver sendo utilizado explosivo deve sempre haver, em condições de pronta utilização, uma viatura que possibilite a evacuação

de acidentados. Deve haver, também, uma ligação rádio ou fio com a unidade. A presença de um médico ou enfermeiro é obrigatória;

(3) NUNCA dividir a responsabilidade de preparação, colocação e acionamento das cargas explosivas, atribuindo sempre a uma só pessoa a responsabilidade pela direção das destruições, indicando substituto para tomar o seu lugar, se necessário;

(4) NÃO permitir que crianças ou pessoal não autorizado permaneça nas imediações dos locais onde haja explosivos;

(5) NUNCA usar estopim com menos de 60 cm;

(6) NÃO introduzir coisa alguma, a não ser estopim ou cordel detonante, na extremidade aberta de uma espoleta. SÓ estriar a espoleta com alicate apropriado (alicate de estriar);

(7) NUNCA forçar uma espoleta para dentro de uma carga explosiva. Alargar o orifício com um punção apropriado (madeira ou o cabo de alicate de estriar);

(8) Manter os fios das espoletas elétricas, ou fios de ligação, em curto- circuito, até que tudo esteja pronto para a detonação. NÃO usar, em um mesmo circuito espoletas elétricas diferentes;

(9) NÃO socar os explosivos com objetos metálicos. Usar soquetes de madeira. EVITAR socar com violência. JAMAIS socar explosivo escorvado;

(10) Nas instruções, colocar as cargas para o corte de madeira, aço, concreto ou outro material sólido, na face voltada para a assistência, a fim de que os estilhaços sejam arremessados para o lado oposto;

(11) SÓ acionar as cargas após verificar que não existe pessoal ou animais dentro da área de perigo;

(12) EVITAR entrar em área onde ocorreu uma detonação, enquanto a fumaça e os gases não se dissiparem completamente;

(13) NUNCA investigar uma nega imediatamente. Aguardar pelo menos 30 minutos;

(14) NÃO usar explosivo, não o manusear e não ficar perto dele durante uma tempestade. NÃO usar explosivo estragado;

(15) Problemas físicos ou psíquicos deverão determinar o afastamento imediato de elemento do manuseio ou utilização de explosivos; e

(16) Tempestades:

(a) As tempestades, em virtude dos raios que produzem, são um risco potencial para as cargas explosivas, qualquer que seja o processo de funcionamento. Um raio que caia próximo a um circuito de lançamento de fogo provavelmente fará iniciar qualquer dos dois tipos de sistema.

(b) Evitar escorvar ou ligar as cargas para lançamento de fogo pelo processo elétrico, durante uma tempestade ou quando o tempo estiver carregado. Mesmo quando os raios caem longe do local das cargas, eles podem causar altas correntes elétricas e ondas de choque que podem iniciar os circuitos elétricos. Os efeitos são piores quando o raio cai próximo a elementos condutores, tais

como os existentes em edifícios, cercas, trilhos, pontes, cursos de água e cabos subterrâneos.

(c) O procedimento mais seguro é suspender todas as atividades ligadas a explosivos durante uma tempestade, ou quando ela está se formando; a não ser que a situação tática seja impositiva.

6. REGRAS DE SEGURANÇA QUANTO À DESTRUIÇÃO DE EXPLOSIVOS

a. Documentos que tratam do assunto

(1) R-105, Título XII, Art 261 a 271;

(2) T 9-1903, Cap 6, Prf 56 a 88; e

(3) Bol Tec Esp/DME Nr 04, de Jul 83, Cap V, Pag 89 a 94.

b. Principais regras

(1) Durante a destruição, o pessoal envolvido deve observar as distâncias previstas no Anexo C (DISTANCIAS DE SEGURANÇA);

(2) A destruição deve ser realizada por pessoal habilitado, em local limpo de vegetação e afastado de armazéns, construções, estradas, paióis etc;

(3) Deve-se levar em conta a direção do vento, para que os gases tóxicos não se dispersem na direção de zonas habitadas ou do pessoal encarregado da destruição;

(4) Fixar o estopim, de modo que ao acendê-lo o mesmo não volte a se enrolar, atingindo o explosivo a ser destruído. O comprimento mínimo de estopim, neste caso, é de 1 metro ou 2 minutos de queima (o que oferecer maior segurança);

(5) O local da destruição deverá ser molhado ao final de cada operação, a fim de resfriar e evitar que alguma centelha venha acionar prematuramente o explosivo; e

(6) Cuidado com os gases que permanecem no local da destruição. Normalmente, são tóxicos e explosivos.

Conteúdo extraído dos seguintes manuais:

- BRASIL. Estado-Maior do Exército. **C 5-25: Explosivos e destruições**. 2ª Ed. Brasília: EGGCF, 1991.
- BRASIL. Estado-Maior do Exército. **C 5-34: Vade-Mécum de Engenharia**. 3ª Ed. Brasília: EGGCF, 1996.
- BRASIL. Departamento Logístico. **R 105: Regulamento para a Fiscalização de Produtos Controlados**. 1ª Ed. Brasília: EGGCF, 2001.
- BRASIL. Estado-Maior do Exército. **T 9-1903: Armazenamento, conservação, transporte e destruição de munições, explosivos e artifícios**. 1ª Ed. Brasília: EGGCF, 1970.
- BRASIL. Diretoria de Material de Engenharia. **Boletim Técnico Especial Nr 4: Normas de emprego e manuseio de cargas explosivas e dispositivos acionadores**. Brasília, 1983.
- BRASIL. Academia Militar das Agulhas Negras. **Apostila de explosivos e destruições do Curso Avançado**. Editora acadêmica.
- BRASIL. Academia Militar das Agulhas Negras. **Vade-Mécum de OT do Curso de Engenharia**. Editora Acadêmica.
- BRASIL. Academia Militar das Agulhas Negras. **Apostila de Explosivos e destruições do Curso de Engenharia**. Editora acadêmica.

ANEXO A
CARACTERÍSTICAS DOS PRINCIPAIS EXPLOSIVOS

EXPLOSIVO	COMPOSIÇÃO	UTILIZAÇÃO	DENSIDADE (g/cm^3)	VELOCIDADE DE DETONAÇÃO (m/s)	PRODUÇÃO DE GASES (l / kg)	PRODUÇÃO DE GASES TÓXICOS (Balanço de oxigênio em %)	EFEITO RELATIVO COMO CARGA EXTERNA	RESISTÊNCIA À ÁGUA	CARGA PARA INICIAÇÃO	ACONDICIONAMENTO / OBSERVAÇÕES
TNT	100% Trinitrotolueno	Emprego militar generalizado Carga de destruição e composição de explosivos	1,64	6900	730	Perigoso (Pcp em ambiente fechado) - 74,0	1,00	Excelente	Espoleta Nr 6	Petardos 50g, 100g, 250g, 500g, 1 Kg, 5 Kg, 10 Kg e 20 Kg
AMATOL 80/20	Nitrato de amônia (80%) TNT(20%)	Carga Explosiva	1,60	4900	ND	+11,06 Perigoso	1,17	Pouca	Espoleta Nr 6	-
Composto A3	RDX (91%) Cera(9%)	Carga de escorva e explosiva	1,63	8100	ND	Perigoso	1,35	Boa	ND	-
Composto B	RDX (60%) TNT (39%) Cera(1%)	Carga explosiva	1,68	7840	± 845	- 43,0 Perigoso	1,35	Excelente	ND	-
Composto C4	RDX (91%) Plastificante (9%)	Carga de destruição (corte e ruptura)	1,72	8000	ND	ND	1,34	Excelente	Espoleta Nr 6	8 petardos M5, de 1 Kg cada, em um estojo de pano VO
Composto C3	RDX (78%) Plastificante (22%)	Carga de destruição (corte e ruptura)	1,62	7625	ND	ND	1,34	Boa	Espoleta Nr 6	8 petardos M3, de 1 Kg cada, em um estojo de pano VO
Dinamite Militar M1, M2 e M3	RDX (75%) TNT(15%) Desensibilizante e plastificante (10%)	Carga de demolição (corte de rocha, destocamento e valeteamento)	ND	6100	ND	Perigoso	0,92	Regular	Espoleta Nr 6	M1 – Cartuchos com 3,1 centímetros de diâmetro e 20 cm de altura M2 – Cartuchos com 3,8 cm de diâmetro e 20 cm de altura
Nitrato de amônio	Puro	Abertura de crateras	1,00	2800	980	+ 20 Perigoso	0,42	Nenhuma	*Booster*	Latas cilíndricas de 18 Kg

ANEXO A (Continuação)
CARACTERÍSTICAS DOS PRINCIPAIS EXPLOSIVOS

EXPLOSIVO	COMPOSIÇÃO	UTILIZAÇÃO	DENSIDADE (g/cm^3)	VELOCIDADE DE DETONAÇÃO (m/s)	PRODUÇÃO DE GASES (l / kg)	PRODUÇÃO DE GASES TÓXICOS (Balanço de oxigênio em %)	EFEITO RELATIVO COMO CARGA EXTERNA	RESISTÊNCIA À ÁGUA	CARGA PARA INICIAÇÃO	ACONDICIONAMENTO / OBSERVAÇÕES
Nitroglicerina	Pura	Usado como base para outros explosivos	1,60	7700	715	+ 3,5 Perigoso	1,50	Boa	Fricção	Não é usada em explosivos militares
PETN	Pura	Cordel detonante, Espoletas, composição de explosivos	1,77	8300	790	ND	1,66	Excelente	ND	Em pó
RDX	Puro	Carga de destruição (corte e ruptura)	1,82	8700	908	ND	1,60	Excelente	Espoleta Nr 6	-
HMX	Puro	Carga de destruição (corte e ruptura)	1,89	9100	ND	ND	1,70	ND	Espoleta Nr 6	-
Tetritol 75/25	Tetril (75%) TNT(25%)	Carga de destruição (corte e abertura de brechas)	1,61	7000	ND	ND	1,20	Excelente	Espoleta Nr 6	M1 e M2: 8 petardos de 1,125 kg, formando cadeia, em estojo de pano VO, de 10x20x28 cm
Tetril	Puro	Carga de escorva e composição de explosivos	1,71	7850	760	Perigoso	1,25	Excelente	Espoleta Nr 6	O Tetril e seus derivados(Tetritol) estão deixando de ser usados, pois é muito tóxico.
Pentolite 50/50	PETN (50%) TNT(50%)	Carga explosiva e de escorva	1,62	7400	ND	Perigoso	ND	Excelente	Espoleta Nr 6	-
Plastex	PETN (71%) TNT(5%) Plastificante(24%)	Carga de destruição (corte e ruptura)	ND	7200	ND	ND	1,12	Boa	Espoleta Nr 6	Explosivo plástico fabricado pela IMBEL. Placas de

ANEXO A (Continuação)
CARACTERÍSTICAS DOS PRINCIPAIS EXPLOSIVOS

EXPLOSIVO	COMPOSIÇÃO	UTILIZAÇÃO	DENSIDADE (g/cm^3)	VELOCIDADE DE DETONAÇÃO (m/s)	PRODUÇÃO DE GASES (l / kg)	PRODUÇÃO DE GASES TÓXICOS (Balanço de oxigênio em %)	EFEITO RELATIVO COMO CARGA EXTERNA	RESISTÊNCIA À ÁGUA	CARGA PARA INICIAÇÃO	ACONDICIONA-MENTO / OBSERVAÇÕES
Pólvora Negra	Carvão vegetal (15%) Nitrato de potássio (75%) Enxofre (10%)	Estopim Abertura de crateras	ND	400	ND	Perigoso	0,55	Pouca	Faísca	-
Torpex	RDX(42%), TNT(40%) Alumínio(18%)	Cargas subaquáticas	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-

ANEXO B

CARACTERÍSTICAS DE EXPLOSIVOS COMERCIAIS
FIRMA: IMBEL

EXPLOSIVO	COMPOSIÇÃO	UTILIZAÇÃO	DENSIDADE (g/cm^3)	VELOCIDADE DE DETONAÇÃO (m/s)	PRODUÇÃO DE GASES (l / kg)	PRODUÇÃO DE GASES TÓXICOS (Balanço de oxigênio em %)	FORÇA	RESISTÊNCIA À ÁGUA	CARGA PARA INICIAÇÃO	ACONDICIONA-MENTO / OBSERVAÇÕES
BELEX	TNT (52 %) PETN (48%)	Reforçador de detonação para cordel detonante	1,45 a 1,70	ND	ND	ND	ND	ND	Cordel detonante	150g, 300g e 450g
BELMAK	ND	Retardo para cordel detonante	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Cordel detonante	5, 10, 20, 30, 40, 50 e 100 ms
EMBEX	Emulsão explosiva (tubo flexível de polietileno)	Desmonte de rocha	1,05 a 1,18	±4000	918	ND	65%	ND	Cordel detonante NP-10 e espoleta Nr 8	Vários tamanhos 2" x 24" 2 ¼" x 24" 2 ½"x 24"
BELPRILL	Explosivo granulado (Tipo carbonitrato)	Desmonte de rocha	0,75 a 0,83	2500	973	ND	67 %	ND	Espoleta Nr 8	Sacos de 25 kg
PV-15	Explosivo gelatinoso nitroglicerinado	Desmonte de rocha	1,40	1800 a 4300(depende do tamanho do cartucho)	780	ND	74%	Excelente	Cordel detonante NP-10 e espoleta Nr 8	Cartuchos de 1" x 8" 1 ⅛" x 8" 1 ¼" x 8" 2" x 12" 2" x 24" 2 ¼"x 24"

ANEXO C

DISTÂNCIAS DE SEGURANÇA PARA PESSOAL

DISTÂNCIAS MÍNIMAS DE SEGURANÇA PARA PESSOAL NÃO ABRIGADO CONTRA ESTILHAÇOS PROVOCADOS PELA EXPLOSÃO DE CARGAS COLOCADAS SOBRE O SOLO OU ENTERRADAS					
Explosivo em quilos	**Raio em metros**	Explosivo em quilos	**Raio em metros**	Explosivo em quilos	**Raio em metros**
C ≤ 0,250	**100**	25	**370**	100	**600**
0,250<C<0,5	**200**	30	**400**	125	**650**
0,5 a 10	**300**	40	**450**	160	**700**
15	**320**	60	**500**	190	**750**
20	**350**	80	**550**	225	**800**

OBSERVAÇÕES:

a. Raio mínimo de segurança para a detonação de uma espoleta comum ou elétrica**, sem estar escorvando uma carga,** é de 20m.

b. A distância de segurança para a destruição de madeira ou concreto, mesmo que a carga seja menor de que 500g, é de 300m.

c. A distância Segurança para cargas maiores de 13,5 kg, sobre o solo ou enterradas, é dada pela fórmula **$D = 100\sqrt[3]{2C}$,** onde D é a distância segurança em metros e C a carga em kg.

d. Cargas entre 250 kg e 650 kg o raio mínimo de segurança é de 1000 metros.

e. O raio mínimo para a destruição de peças metálicas é de 1000 metros.

f. A distância mínima de segurança para pessoal protegido por abrigo (condizente com a carga a ser utilizada e com o material) é de **100 metros.**

ANEXO D

DISTÂNCIAS DE SEGURANÇA DE ANTENAS TRANSMISSORAS

MÉDIA OU PICO DA POTÊNCIA DE TRANSMISSÃO (W)	DISTÂNCIA MÍNIMA DO TRANSMISSOR (M)	OBSERVAÇÕES
0-30	30	- Quando a transmissão é do tipo pulso ou onda de pulso contínuo e pulsa com largura menor do que 10 microssegundos, a coluna da esquerda indica a potência média. - Para as outras transmissões, incluindo aquelas com pulso de largura maior do que 10 microssegundos, a coluna da esquerda indica a potência de pico.
30-50	50	
50-100	100	
100-250	150	
250-500	250	
500-1000	300	
1000-3000	500	
3000-5000	600	
5000-20000	900	
20000-50000	1500	
50000-100000	3000	

OBSERVAÇÕES:

1. Transmissores móveis ou portáteis NÃO devem funcionar a menos de 50 m de qualquer espoleta elétrica ou processo elétrico de lançamento de fogo.
2. NÃO utilizar o processo elétrico de lançamento de fogo a menos de 150 m de linhas de transmissão de eletricidade.

ANEXO E

CARACTERÍSTICAS DAS ESPOLETAS

ESPOLETAS COMUNS			
Características \ Tipos		Nr 6	Nr 8
Estojo	Material	Alumínio	Alumínio
	Diâmetro	45 mm	45 mm
	Comprimento	6,5 mm	6,5 mm
Classe de resistência a água		7 (pouca)	7 (pouca)
Carga de iniciação: Azida de chumbo / estifinato		250 mg	300 mg
Carga de trabalho: Nitropenta		350 mg	500 mg
Peso		1,3 g	1,5 g

ESPOLETAS ELÉTRICAS		
CARACTERÍSTICAS COMUNS		
Estojo	Material	Alumínio
	Diâmetro	45 mm
	Comprimento	6,5 mm
Comprimento dos fios condutores		1 a 5 m
Classe de resistência a água		1 (excelente)
Carga de iniciação: Azida de chumbo / estifinato		300 mg
Carga de trabalho: Nitropenta		550 mg

CARACTERÍSTICAS PARTICULARES										
TIPO	FIO		Corrente Max de não detonação	Corrente recomendada para 1 peça	Corrente recomendada por série	Resistência elétrica total aproximada dos condutores (ohms)				
	Material	Cor				1m	2m	3m	4m	5m
Baixa amperagem	Cobre	Amarela	0,25 A	0,5 A	1,5 A	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1
Alta amperagem	Cobre	Laranja	0,8 A	1,5 A	3,0 A	0,5	0,7	1,9	1,1	1,3
	Ferro	Branca	0,8 A	1,5 A	3,0 A	1,3	2,3	3,3	4,3	5,3
Os tipos de "alta amperagem" são de alta segurança às correntes elétricas parasitas de origem dinâmica										

ANEXO F

CARACTERÍSTICAS DO ESTOPIM E DO CORDEL DETONANTE

ESTOPIM		
Tipos / Características	COMUM	HIDRÁULICO
Diâmetro externo	5 mm	5 mm
Núcleo	Misto de pólvora negra	Misto de pólvora negra
Peso da pólvora	5,5 g/m	6,5 g/m
Peso do estopim	21 g/m	23 g/m
Temo de queima	140 ± 14 seg/m	140 ± 14 seg/m
Comprimento da chispa	> 30 mm	> 30 mm
Resistência à armazenagem	2 anos	2 anos
Resistência à água	7(pouca)	1 (excelente)
Resistência à tração	24 kgf	28 kgf
Revestimento externo	Resina plastificada	Termoplástico

CORDEL DETONANTE			
Tipos / Características	NP-3	NP-5	NP-10
Diâmetro externo	3,0 mm	4,5 mm	5,0 mm
Núcleo	PETN	PETN	PETN
Carga do núcleo	3 g/m	5 g/m	10 g/m
Peso do cordel	13 g/m	17 g/m	23 g/m
Velocidade de detonação	6600 m/s	7000 m/s	6800 m/s
Flexibilidade	Excelente	Excelente	Excelente
Resistência à armazenagem	5 anos	5 anos	5 anos
Resistência à água	1 (excelente)	1 (excelente)	1 (excelente)
Resistência à tração	45 Kgf	50 Kgf	80 Kgf
Revestimento externo	PVC	PVC	PVC
Carretel	1000 m	750 m	500 m

ANEXO G

TABELA PARA O CÁLCULO DE CARGAS PARA CORTAR MADEIRA

D em cm		15	20	25	30	35	40
C em gramas	EXTERNA	350	600	950	1350	1850	2400
	INTERNA	100	150	200	300	400	500
D em cm		**45**	**50**	**55**	**60**	**65**	**70**
C em gramas	EXTERNA	3050	3750	4550	5400	6350	7350
	INTERNA	600	750	900	1100	1300	1500

OBSERVAÇÕES:

a. Só usar esta tabela quando necessitar rapidez de cálculo.

b. **C** - carga de TNT em gramas.

c. **D** - diâmetro ou menor dimensão da peça em centímetros.

d. Se D não for encontrado, tomar o valor imediatamente superior.

e. Para as cargas internas não é necessário considerar o Efeito Relativo do Explosivo.

f. Sempre que possível utilizar enchimento.

g. Para **ABATIS** - para o cálculo de carga, multiplicar o valor encontrado na tabela por **0,8**.

FÓRMULAS

	CORTE DE MADEIRA				*ABATIS*			
Carga	EXTERNA		INTERNA		EXTERNA		INTERNA	
Madeira	dura	macia	dura	macia	dura	macia	dura	macia
C=	$1,8D^2$	D^2	$0,3D^2$	$0,2D^2$	$1,2\ D^2$	$0,7D^2$	$0,2D^2$	$0,14D^2$

OBSERVAÇÕES:

a. Na dúvida, considerar a madeira como "dura" e usar a fórmula apropriada.

b. Arredondar o resultado obtido para a quantidade imediatamente superior, múltipla do peso do petardo que estiver utilizando.

c. D em cm e C em g.

d. Considerar as observações do quadro superior.

ANEXO H

TABELA PARA O CÁLCULO DE CARGAS PARA CORTAR AÇO DE ESTRUTURAS

Espessura		Largura da seção em cm												
pol	cm	5	6	8	10	12	15	20	25	30	35	40	50	60
¼	0,6	80	100	130	160	190	240	320	400	490	570	650	810	970
⅜	1	140	160	220	270	320	400	540	680	810	950	1080	1350	1620
½	1,3	180	210	280	350	420	530	700	880	1050	1230	1400	1750	2100
⅝	1,6	220	260	350	430	520	650	860	1080	1300	1510	1730	2160	2600
¾	1,9	260	310	410	510	620	770	1030	1280	1540	1800	2050	2560	3080
⅞	2,2	300	360	480	600	710	890	1190	1480	1780	2080	2380	2970	3560
1	2,5	340	400	540	680	810	1010	1350	1690	2030	2360	2700	3380	4050
1 ¼	3,1	420	500	670	840	1000	1260	1670	2090	2510	2930	3350	4180	5020

OBSERVAÇÕES:

a. Esta tabela possibilita maior rapidez no cálculo das cargas necessárias para o corte de aço de estruturas (vigas em H, I, L , T e U).

b. As cargas são fornecidas em gramas de TNT, necessárias para cortar a seção reta da peça de aço, cuja espessura e largura são fornecidas pela tabela.

APLICAÇÃO DA TABELA (SEQUÊNCIA DAS AÇÕES):

a. Desenhar a seção reta da peça com todas as suas dimensões.

b. Decompor a seção desenhada em retângulos.

c. Somar todas as larguras (maior dimensão) de mesma espessura.

d. Decompor as larguras totais encontradas segundo as colunas da tabela (se necessário).

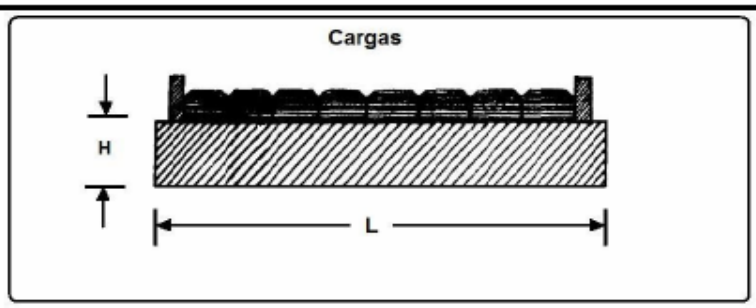
e. Ver na tabela quais as cargas para larguras decompostas.

f. Somar as cargas parciais, o resultado será a carga total necessária.

ANEXO I

TABELA PARA O CÁLCULO DE CARGAS DE PRESSÃO EM PONTES DE LANCES SIMPLES DE LAJE DE CONCRETO

PERFIL TRANSVERSAL DA PONTE



FÓRMULA

$$C = 50\ H^2\ L$$

Onde: C = Quilos de TNT, por lance.
H = Espessura da laje, em metros, incluindo o tabuleiro.
L = Largura da laje, em metros.

TABELA

E em metros	L em metros								
	3,00	3,10	3,20	3,30	3,40	3,50	3,60	3,70	3,80
0,30	13,5	14,0	14,4	14,8	15,3	15,8	16,2	16,6	17,1
0,40	24,0	24,8	25,6	26,4	27,2	28,0	28,8	29,6	30,4
0,50	37,5	38,8	40,0	41,2	42,5	43,8	45,0	46,2	47,5
0,60	54,0	55,8	57,6	59,4	61,2	63,0	64,8	66,6	68,4

OBSERVAÇÕES:

a. Interpolar, diretamente, os valores de L, cuja função é linear.

b. Para os valores de E, tomar os dados correspondentes à medida imediatamente superior.

c. Multiplicar o valor da carga encontrada pelo número de lances se desejar destruir mais de um lance.

d. O enchimento mínimo aceitável é de 30 cm. Não sendo possível colocar este enchimento mínimo, aumentar a carga de 1/3 (multiplicar o resultado por 4/3 ou 1,33).

e. As cargas devem ser colocadas no meio do lance.

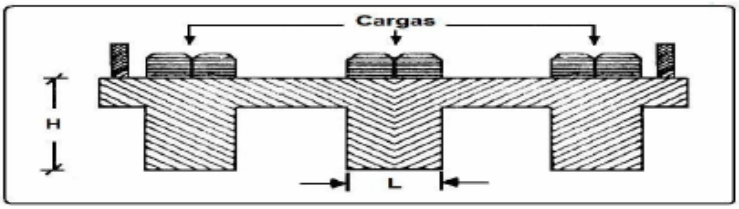
f. **Exemplo:** calcular a quantidade de TNT necessária para destruir dois lances de uma ponte de lance simples de laje de concreto, de 0,40m de altura e 3,60m de largura. Cargas sem enchimento.

Solução: - H=0,40m ... L=3,60m.... TABELA...C=28,8Kg de TNT;
- Sem enchimento: 28,8 x 1,33 = 38,3Kg;
- 2 lances: 2 x 38,3Kg = 76,6Kg.

ANEXO J

TABELA PARA O CÁLCULO DE CARGAS DE PRESSÃO EM PONTES DE LANCES SIMPLES DE VIGAS EM "T" DE CONCRETO

PERFIL TRANSVERSAL DA PONTE



FÓRMULA

$C = 50\ H^2\ L$

Onde: C = Quilos de TNT, por lance.
H = Altura da viga, em metros, incluindo o tabuleiro.
L = Largura da viga, em metros.

TABELA

H em metros	L em metros								
	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10
0,30	1,4	-	-	-	-	-	-	-	-
0,40	2,4	3,2	-	-	-	-	-	-	-
0,50	3,8	5,0	6,3	-	-	-	-	-	-
0,60	5,4	7,2	9,0	10,8	-	-	-	-	-
0,70	7,4	9,8	12,3	14,7	17,2	-	-	-	-
0,80	9,6	12,8	16,0	19,2	22,4	25,6	-	-	-
0,90	12,2	16,2	20,3	24,3	28,4	32,4	36,5	-	-
1,00	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,4	45,0	50,0	-
1,10	18,0	24,2	30,0	36,3	42,4	48,4	54,5	60,5	66,6
1,20	21,6	28,8	36,0	43,2	50,4	57,6	64,8	72,0	79,2
1,30	25,4	33,8	42,3	50,7	59,1	67,6	76,0	84,5	93,0
1,40	29,4	39,2	49,0	58,8	68,6	78,4	88,2	98,0	107,8
1,50	33,8	45,0	56,3	67,5	78,8	90,0	101,3	112,5	123,8

OBSERVAÇÕES:

a. Os valores da tabela são os mais comumente encontrados.

b. Para os valores de H, tomar os dados correspondentes à medida imediatamente superior.

c. Adotar para H e L o valor mínimo de 0,30 m se estes forem inferiores a tal valor.

d. Multiplicar o valor da carga pelo número de vigas iguais e pelos lances a serem destruídos.

e. O enchimento mínimo aceitável é 30 cm. Não sendo possível colocar este enchimento mínimo, aumentar a carga de 1/3 (multiplicar o resultado por 4/3 ou 1,33).

f. As cargas devem ser colocadas no meio do lance e sobre as vigas.

ANEXO L

TABELA PARA O CÁLCULO DE CARGAS DE RUPTURA PARA CONCRETO ARMADO

R (m)	E = 1,0	E = 2,0	E = 3,5	E = 4,5	K
0,2	0,250	0,450	0,800	1,050	1,76
0,3	0,800	1,550	2,700	3,450	
0,4	1,000	2,000	3,450	4,450	
0,5	1,950	3,850	6,750	8,650	
0,6	3,350	6,650	11,650	14,950	0,96
0,7	5,300	10,550	18,450	23,750	
0,8	7,900	15,750	27,550	35,450	
0,9	11,200	22,400	39,200	50,400	
1,0	12,800	25,600	44,800	57,600	
1,1	17,050	34,100	59,650	76,700	
1,2	22,150	44,250	77,400	99,500	0,80
1,3	28,150	56,300	98,550	126,700	
1,4	35,150	70,300	123,050	158,200	
1,5	34,050	68,050	119,100	153,100	
1,6	41,300	82,600	144,550	185,850	
1,7	49,550	99,050	173,350	222,850	
1,8	58,800	117,600	205,800	264,600	0,63
1,9	69,150	138,300	242,000	311,150	
2,0	80,650	161,300	282,250	362,900	
2,1	80,050	160,050	280,100	360,100	
2,2	92,000	184,000	322,000	414,000	
2,3	105,150	210,300	368,000	473,100	0,54
2,4	119,500	239,000	418,250	537,750	
2,5	135,000	270,000	472,500	607,500	

OBSERVAÇÃO:

Para raio de ruptura maior que 2,5m, usar a fórmula $C = 16\ R^3KE$. Considerar, para o concreto armado, K= 0,54.

FATORES DE CONVERSÃO PARA OUTROS MATERIAIS		
Terra	Concreto comum, alvenaria comum, rocha, arenito, construção de madeira dura e terra	Concreto ciclópico, alvenaria de 1ª Classe
0,1	0,5	0,7

- Determinar a natureza do material
- Determinar a carga com os valores de R e E, como se o material fosse concreto armado.
- Multiplicar pelo fator de conversão.

Exemplo: Calcular uma carga de ruptura para romper uma parede de alvenaria comum de 2 m de espessura com uma carga sem enchimento, colocada junto à parede, a 2 metros acima do solo.

Solução: Entrar na tabela com os valores R =2,0 ; E=4,5 → C = 362,900

Como o material é alvenaria comum = 362,900 x 0,5 = 181,45

ANEXO M

CÁLCULO DE CARGAS PARA FORNILHOS

FORNILHO	CLASSE DO EXPLOSIVO	FÓRMULA	OBSERVAÇÕES	IDENTIFICAÇÃO
ÍNDICE	-	N = R/H	N=1: Fornilho normal N>1: Fornilho sobre carregado N<1: Fornilho sub-carregado N=0: Fornilho camuflado	N: Índice do fornilho. R: Raio da cratera, em metros. H: Linha de menor resistência, em metros. C: Carga de TNT, em kg. G: Coeficiente do terreno(3). $S = \left(\sqrt{1+N^2} - 0,41\right)^3$ (4)
NORMAL	Lento ou brisante	$C = GH^3$	(1),(2) e (3)	
SOBRE-CARREGADO OU SUB-CARREGADO	Lento	$C = GH^3 S$	N>1: Fornilho sobre carregado N<1: Fornilho sub-carregado (1),(3) e (4)	
	Brisante	$C = GH^3 S$	N<1 (2),(3) e (4)	
		$C = GR^3$	1<N<3 (2)e(3)	
CAMUFLADO	Lento ou brisante	$C = 0,2GH^3 / 10$ $C = 0,2GH^3$	(1),(2) e (3)	

(1) Explosivo lento – cálculo da profundidade da cratera (P):
PL=H(2N-1)/3, onde ½ < N <3
(2) Explosivo brisante – cálculo da profundidade da cratera (P):
PB = R/2 = NH/2, onde N<3.
(3) Valores de G, consultar a tabela na página M-2.
(4) Valores de S, consultar a tabela da pagina M-2.

VALOR DE K		
MATERIAL	EXPLOSIVO BRISANTE	EXPLOSIVO LENTO
Terra comum	¼ a 1/6	1/8 a 1/12
Rocha porosa	1/8 a 1/12	1/16 a 1/24
Argila	1/20	1/40

ANEXO M (Continuação)

CÁLCULO DE CARGAS PARA FORNILHOS

VALOR DO COEFICIENTE DO MATERIAL OU DO TERRENO (G)		
NATUREZA DO MATERIAL OU DO TERRENO	**EXPLOSIVO BRISANTE**	**EXPLOSIVO LENTO**
Terra comum (silte ou areia)	0,9	0,9
Cascalho	1,2	1,5
Terra misturada com pedras	1,3	1,8
Terra com tufo	1,4	2,0
Alvenaria fraca, calcário duro	1,6	2,4
Alvenaria comum, rocha comum	2,0 a 3,0	3,0 a 4,5
Alvenaria de 1ª classe (de obra de arte)	3,0 a 4,5	4,0 a 5,0
Rocha dura, concreto simples	3,0 a 4,5	4,5 a 7,0
Concreto de fortificação	4,5 a 6,5	7,0 a 10,0
Rocha muito dura, concreto armado	13,0 a 15,0	7,0 a 10,0

VALORES DE S = $\left(\sqrt{1+N^2}-0{,}41\right)^3$

N	S	N	S	N	S
0,1	0,21	1,1	1,24	2,1	6,99
0,2	0,23	1,2	1,52	2,2	8,04
0,3	0,26	1,3	1,85	2,3	9,19
0,4	0,30	1,4	2,23	2,4	10,45
0,5	0,35	1,5	2,68	2,5	11,84
0,6	0,43	1,6	3,20	2,6	13,35
0,7	0,53	1,7	3,79	2,7	14,98
0,8	0,66	1,8	4,46	2,8	16,76
0,9	0,81	1,9	5,21	2,9	18,79
1,0	1,00	2,0	6,05	3,0	20,76

ANEXO N

CARACTERÍSTICAS DE CAMPOS DE POUSO

Loc	Tipo de avião		Corrida de decolagem (m)	Comprimento mínimo de pista (m)	Largura da pista (m)
A Rg Bda	Trnp Leve	C-7 e C-95	200	300	15
	Trnp Médio	C-130	500	600	20
A Rg DE	Ligação	O-1 e U-7A	100	200	15
	Observação	OV-1	600	700	20
	Trnp Leve	C-7 e C-95	200	400	20
	Trnp Médio	C-130	600	700	20
A Rg Ex Cmp	Ligação	O-1 e U-7A	100	300	15
	Observação	OV-1	600	900	20
	Trnp Leve	C-7 e C-95	200	400	20
	Trnp Médio	C-130	800	1000	20
	Trnp Pesado	C-135	2000	2800	30
	Caça	F-4C, F-5 TIGER II, F-5 e MIRAGE	1200	1500	20
ZA	Lig, Obs e Trnp Leve	O-1, OV-1 e C-7A	600	900	25
	Trnp Médio	C-130	1200	1800	25
	Trnp Pesado	C-135	2000	3000	50
	Caça	F-4	1200	2400	35

OBSERVAÇÃO:
Extensões mínimas, ao nível do mar, 15° C, sem ventos e superfície dura.

ANEXO O

MÉTODOS DE ABORDAGEM PARA DESTRUIÇÃO DE PONTES

a. Generalidades

Os métodos de abordagem previstos neste anexo listam os mais comuns tipos de pontes. Quando se deparar com pontes de características e materiais diferentes, o elemento responsável pela destruição deverá adaptar um dos processos recomendados neste anexo ou categorizar a ponte como mista e desenvolver um plano adequado de demolição usando os princípios do Capítulo 6.

b. Valores mínimos de A_R para uma abordagem inferior

H / V	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
A_R/ V	0,0002	0,0008	0,0020	0,0030	0,0050	0,0070	0,0100	0,0130	0,0160	0,0200
H / V	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,17	0,17	0,18	0,18	0,20
A_R/ V	0,0240	0,0290	0,0340	0,0390	0,0440	0,0500	0,0570	0,0630	0,0700	0,0770

OBSERVAÇÕES:

1. Os valores da tabela são baseados na seguinte fórmula = $A_R/ V = [4(H/L)^2+1]^{½} -1$

   Onde A_R = Afastamento requerido

   V = Extensão do vão

   H = Altura da superestrutura (viga, treliça, etc. incluso o piso de rolamento)

2. Se não encontrar o valor exato de H/V, aproxime para mais.

Ex.: Se H/V = 0,076, aproxime para 0,08 e encontre 0,013 para o valor de A_R/ V.

3. Multiplique o valor encontrado A_R/ V por V para achar A_R

   Ex.: Se V = 50 m, então A_R = 0,013 x 50 = 0,65 m

Tab O-1. Valores mínimos de A_R para uma abordagem inferior

ANEXO O (Continuação)

c. Valores mínimos de V_R para abordagens superiores (centro do vão)

S/V \ H/V	Multiplicador da seção removida da extensão do vão (V_R/V)														
	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,018	0,020	0,030	0,040	0,050	0,060	0,080	0,100
0,01	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005	0,005	0,005	0,006	0,006	0,007	0,009	0,010	0,011	0,013	0,015
0,02	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010	0,011	0,011	0,012	0,015	0,017	0,019	0,022	0,026	0,030
0,03	0,006	0,009	0,011	0,012	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,022	0,026	0,029	0,033	0,039	0,045
0,04	0,011	0,013	0,015	0,016	0,018	0,019	0,021	0,022	0,023	0,029	0,034	0,039	0,043	0,052	0,060
0,05	0,013	0,016	0,018	0,020	0,022	0,024	0,026	0,028	0,029	0,036	0,043	0,049	0,054	0,065	0,075
0,06	0,015	0,019	0,022	0,025	0,027	0,029	0,031	0,033	0,035	0,044	0,051	0,058	0,065	0,078	0,090
0,07	0,018	0,022	0,026	0,029	0,031	0,034	0,036	0,039	0,041	0,051	0,060	0,068	0,076	0,091	0,105
0,08	0,021	0,025	0,029	0,033	0,036	0,039	0,042	0,044	0,047	0,058	0,068	0,078	0,087	0,104	0,120
0,09	0,023	0,028	0,033	0,037	0,040	0,044	0,047	0,050	0,053	0,065	0,077	0,087	0,097	0,116	0,135
0,10	0,026	0,032	0,036	0,041	0,045	0,049	0,052	0,055	0,058	0,073	0,085	0,097	0,108	0,129	0,150
0,11	0,028	0,035	0,040	0,045	0,049	0,053	0,057	0,061	0,064	0,080	0,094	0,107	0,119	0,142	0,165
0,12	0,031	0,038	0,044	0,049	0,054	0,058	0,062	0,066	0,070	0,087	0,102	0,116	0,130	0,155	0,180
0,13	0,033	0,041	0,047	0,053	0,058	0,063	0,067	0,072	0,076	0,095	0,111	0,126	0,140	0,168	0,195
0,14	0,036	0,044	0,051	0,057	0,063	0,068	0,073	0,077	0,082	0,102	0,119	0,136	0,151	0,181	0,210
0,15	0,038	0,047	0,054	0,061	0,067	0,073	0,078	0,083	0,088	0,109	0,128	0,145	0,162	0,194	0,225
0,16	0,041	0,050	0,058	0,065	0,072	0,078	0,083	0,088	0,093	0,116	0,136	0,155	0,173	0,207	0,240
0,17	0,043	0,053	0,062	0,069	0,076	0,082	0,088	0,094	0,099	0,124	0,145	0,165	0,184	0,220	0,255
0,18	0,046	0,056	0,065	0,073	0,080	0,087	0,093	0,099	0,105	0,131	0,154	0,175	0,194	0,233	0,270
0,19	0,049	0,060	0,069	0,077	0,085	0,092	0,099	0,105	0,111	0,138	0,162	0,184	0,205	0,246	0,285
0,20	0,051	0,063	0,073	0,081	0,089	0,097	0,104	0,110	0,117	0,145	0,171	0,194	0,216	0,259	0,300

OBSERVAÇÕES:

1. Os valores da tabela são baseados no valor de V_R/ V, que é calculado dessa forma:

   $V_R = V_R \times V / V$

2. Os valores da tabela são baseados na seguinte fórmula =

$$\frac{V_R}{V} = \frac{2H\left[\frac{S}{V} - \left(\frac{S}{V}\right)^2\right]^{1/2}}{V\left(\frac{1}{2} - \frac{S}{V}\right)}$$

Onde V_R = comprimento mínimo necessário (m)
V = Extensão do vão (m)
H = Altura da superestrutura (viga, treliça, etc. incluso o piso de rolamento) (m)
S = Espaçamento médio dos apoios (m)

3. Se não encontrar o valor exato de S / V e H/V, aproxime para mais.

Ex.: Se H/V = 0,021,use 0,03; se S / V = 0,0142, use 0,016

4. O valor de V_R/ V será o valor da interseção entre a linha de H/V e a coluna de V_R/V.

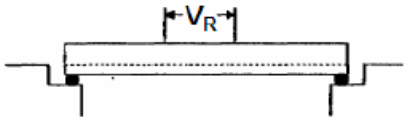
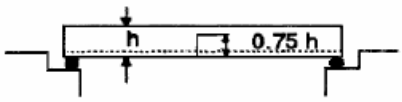
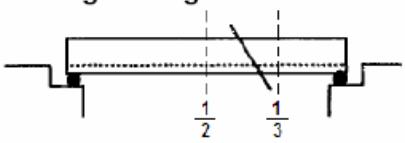
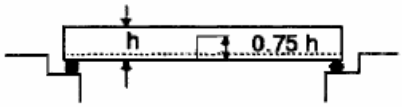
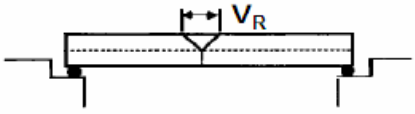
5. Agora multiplique o valor encontrado V_R/ V por V para achar V_R

Ex.: Se V_R/ V = 0,016 e V = 50 m, então V_R = 0,016 x 50 = 0,8 m

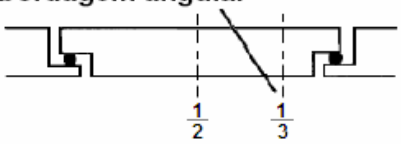
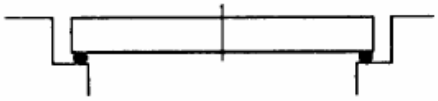
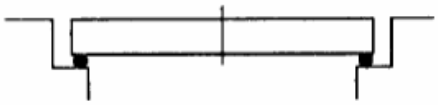
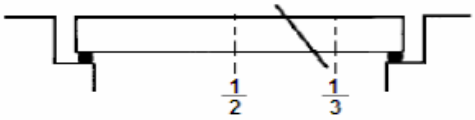
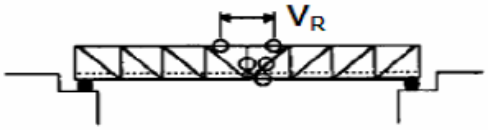
Tab O-2. Valores mínimos de V_R para abordagens superiores (centro do vão)

ANEXO O (Continuação)

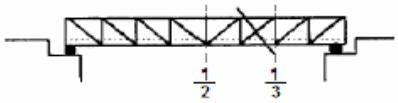
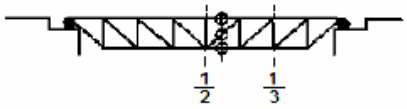
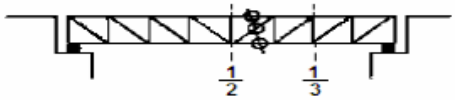
d. Pontes de lance simples (Tab O-3)

Nr Ordem	Subcategoria	Tipo	Método de abordagem	Observações
1a	Viga de aço	Tabuleiro inferior Método I	**Abordagem superior: A < AR**  1. Corte no centro do vão 2. Corte a viga principal inclusive sua parte inferior em "V" 3. Não considere o corte do tabuleiro	-
2a		Tabuleiro inferior Método II	**Abordagem Inferior: A > AR**  1. Corte no centro do vão até 0,75 h 2. Corte toda a largura do tabuleiro	-
3a		Tabuleiro inferior Método III	**Abordagem Angular**  1. Corte entre $\frac{1}{2}$ e $\frac{1}{3}$ do vão 2. Corte toda a largura do tabuleiro	O afastamento (A) não é considerado
4a		Tabuleiro inferior Método IV	**Abordagem Inferior A < AR**  1. Corte no centro do vão até 0,75 h 2. Corte toda a largura do tabuleiro 3. Destrua um encontro ou pilar para criar um afastamento suficiente para a queda	-
5a		Tabuleiro inferior Método V	**Abordagem Superior: A > AR**  1. Corte no centro do vão 2. Corte a ponte como mostrado na figura 3. Não considere o corte do tabuleiro	-

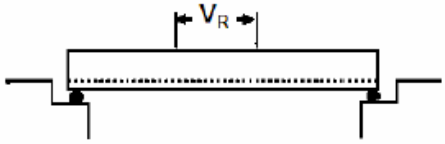
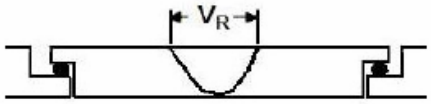
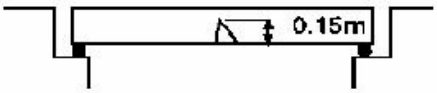
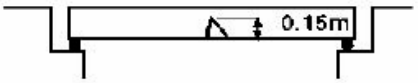
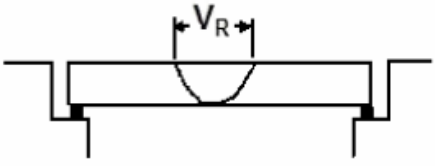
ANEXO O (Continuação)

Nr Ordem	Subcategoria	Tipo	Método de abordagem	Observações
6a	Viga de aço	Tabuleiro Superior Apoio Superior	**Abordagem angular**  1. Corte entre $\frac{1}{2}$ e $\frac{1}{3}$ do vão 2. Corte toda a largura do tabuleiro	1. Configuração encontrada nas pontes cantilever com vãos suspensos 2. O afastamento (A) não é considerado
7a		Tabuleiro Superior Apoio Inferior **Método I**	**Abordagem Inferior: A > AR**  1. Corte no centro do vão 2. Não considere o corte do tabuleiro	-
8a		Tabuleiro Superior Apoio Inferior **Método II**	**Abordagem Inferior: A < AR**  1. Corte no centro do vão 2. Não considere o corte do tabuleiro 3. Destrua um encontro ou pilar para criar um afastamento suficiente para a queda	-
9a		Tabuleiro Superior Apoio Inferior **Método III**	**Abordagem angular**  1. Corte entre $\frac{1}{2}$ e $\frac{1}{3}$ do vão 2. Corte toda a largura do tabuleiro	O afastamento (A) não é considerado
10a	Treliça de aço	Tabuleiro inferior **Método I**	**Abordagem Superior: A < AR**  1. Corte no centro do vão 2. Corte a viga superior duas vezes (verticalmente se necessário), diagonais e uma vez a viga inferior 3. Remova o braço de contraventamento acima do meio do vão. 4. Não considere o corte do tabuleiro	-

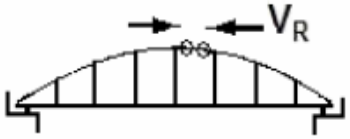
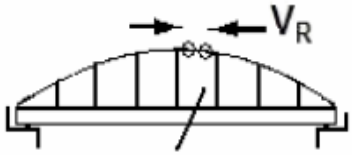
ANEXO O (Continuação)

Nr Ordem	Subcategoria	Tipo	Método de abordagem	Observações
11a	Treliça de aço	Tabuleiro inferior Método I	**Abordagem angular**  1. Corte entre $\frac{1}{2}$ e $\frac{1}{3}$ do vão 2. Corte a viga superior, diagonais e viga inferior em uma linha. 3. Corte toda a largura do tabuleiro	-
12a		Tabuleiro Superior Apoio Superior	**Abordagem Inferior: A > AR**  1. Corte entre $\frac{1}{2}$ e $\frac{1}{3}$ do vão 2. Corte a viga superior, diagonais e viga inferior em uma linha. 3. Não considere o corte do tabuleiro	1. Configuração encontrada nas pontes cantilever com vãos suspensos 2. O afastamento (A) não é considerado
13a		Tabuleiro Superior Apoio Inferior Método I	**Abordagem Inferior A > AR** 1. Corte no centro do vão 2. Corte a viga superior, diagonais e viga inferior em uma linha. 3. Não considere o corte do tabuleiro	O afastamento (A) não é considerado
14a		Tabuleiro Superior Apoio Inferior Método II	**Abordagem Inferior A < AR** 1. Corte no centro do vão 2. Corte a viga superior, diagonais e viga inferior em uma linha. 3. Não considere o corte do tabuleiro 4. Destrua um encontro ou pilar para criar um afastamento suficiente	-
15a		Tabuleiro Superior Apoio Inferior Método III	**Abordagem angular**  1. Corte no centro do vão 2. Não considere o corte do tabuleiro	O afastamento (A) não é considerado

ANEXO O (Continuação)

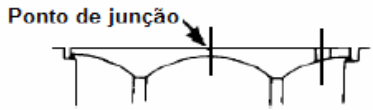
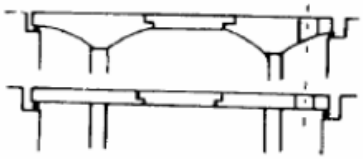
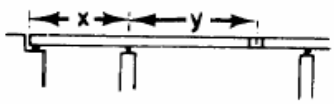
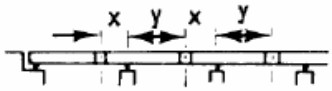
Nr Ordem	Subcategoria	Tipo	Método de abordagem	Observações
16a	Concreto	Tabuleiro inferior	**Abordagem inferior**  1. Corte no centro do vão 2. Corte toda a largura do tabuleiro	Este método é aplicado somente para pontes de laje simples.
17a		Tabuleiro Superior Apoio Superior	**Abordagem superior**  Corte centro do vão com cargas de pressão	1. Configuração encontrada nas pontes cantilever com vãos suspensos. 2. Remova todo concreto da largura e altura do vão.
18a		Tabuleiro Superior Apoio Inferior Método I	**Abordagem Inferior: A > AR**  Corte centro do vão com cargas dirigidas.	1. Este método é aplicado somente para pontes de laje simples. 2. Um suficiente pedaço de concreto é cortado para causar o colapso.
19a		Tabuleiro Superior Apoio Inferior Método II	**Abordagem Inferior A < AR**  1. Corte centro do vão com cargas dirigidas. 2. Destrua um encontro ou pilar para criar um afastamento suficiente.	Este método é aplicado somente para pontes de laje simples.
20a		Tabuleiro Superior Apoio Inferior Método III	**Abordagem Superior A < AR**  Corte centro do vão com cargas de pressão	Remova todo concreto da largura e altura do vão.

ANEXO O (Continuação)

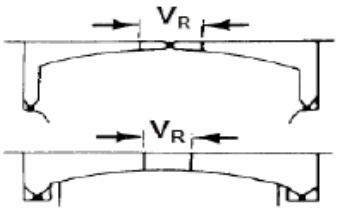
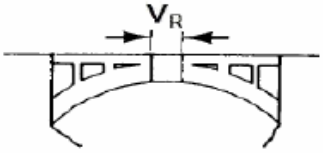
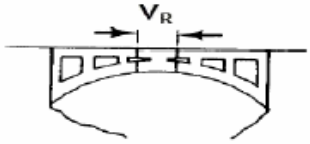
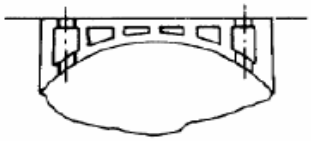
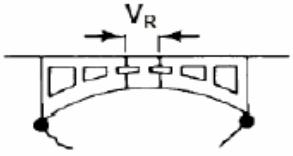
Nr Ordem	Subcategoria	Tipo	Método de abordagem	Observações
21a	Arco "Bowstring"	Normal	**Abordagem superior**  1. Corte no centro do vão 2. Corte o arco em dois pontos 3. Corte todos tirantes do arco 4. Não considere o corte do tabuleiro	-
22a		Reforçado Viga ou treliça	**Abordagem superior + viga do tabuleiro**  1. Corte a treliça ou viga com um método apropriado (1 a 15). 2. Corte o arco em dois pontos, incluindo os tirantes	-

ANEXO O (Continuação)

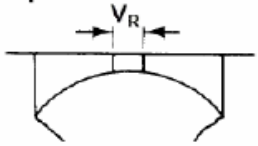
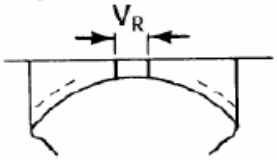
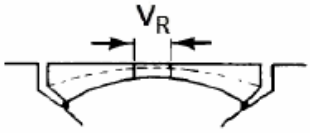
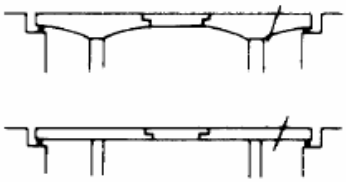
e. Pontes de lance contínuo (Tab O-4)

Nr Ordem	Subcategoria	Tipo	Método de abordagem	Observações
1b	Concreto	Cantilever	**Dois cortes**  1. Corte o vão ancorado próximo do encontro. 2. Corte o ponto de junção.	1. O corte do vão ancorado por necessitar de duas etapas de destruição 2. Use uma carga de pressão na primeira fase.
2b		Cantilever com vão suspenso	**Um corte**  Corte o vão ancorado próximo do encontro.	1. O corte do vão ancorado por necessitar de duas etapas de destruição. 2. Use uma carga de pressão na primeira fase. 3. Se a demolição do vão suspenso criar um obstáculo desejado, considere-o com uma ponte de lance simples e destrua com o método adequado.
3b		Viga ou treliça com vão menor	**Um corte**  1. Corte o vão interior com a condição de y ser maior que 1,25 x. 2. Se for necessário cortar outros vãos siga o método do Nr O 4.	1. O Corte de vãos extensos pode exigir duas etapas. 2. Use carga de pressão para a primeira fase.
4b		Viga ou treliça sem vão menor Tabuleiro inferior	**Dois ou mais cortes**  Corte o vão interior com a condição de y ser maior que 1,25 x.	1. O Corte desses vãos pode exigir duas etapas 2. Use carga de pressão para a primeira fase.
5b		Quadro rígido Base rígida	**Dois cortes** 1. Corte o vão em dois pontos próximos dos encontros. 2. Não considere o corte do tabuleiro.	1. O Corte desse vão pode exigir duas etapas. 2. Use carga de pressão para a primeira fase.

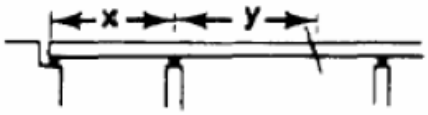
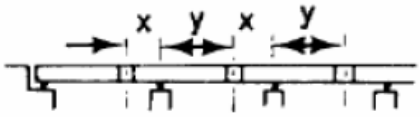
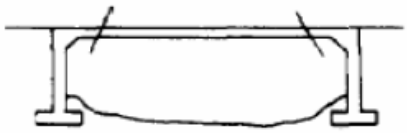
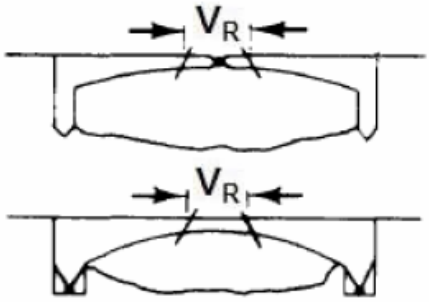
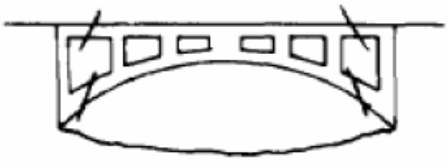
ANEXO O (Continuação)

Nr Ordem	Subcategoria	Tipo	Método de abordagem	Observações
6b	Concreto	Quadro rígido Base articular	**Carga de pressão**  Remova um pedaço do concreto do tabuleiro maior que o espaçamento requerido (V_R).	1. Remova todo o concreto de VR. 2. A destruição em uma etapa pode ser eficiente. 3. Quando a base for desconhecida use o método de destruição para base rígida.
7b		Arco aberto Base fixa Método I	**Carga de pressão**  Remova um pedaço do concreto do tabuleiro maior que o espaçamento requerido (V_R).	1. Método aplicado para arcos maiores que 35 metros. 2. A destruição em uma etapa pode ser eficiente.
8b		Arco aberto Base fixa Método II	**Carga de pressão**  1. Remova um pedaço do concreto do tabuleiro maior que o espaçamento requerido (V_R). 2. Coloque cargas dirigidas na parte superior do topo do arco.	1. Método aplicado para arcos maiores que 35 metros. 2. A destruição em uma etapa pode ser eficiente.
9b		Arco aberto Base fixa Método III	**Quatro cortes**  Corte o vão interior com a condição de y ser maior que 1,25 x.	1. Alternativa para o método II para arcos maiores de 35 metros. 2. A demolição pode exigir duas etapas 3. Use carga de pressão para a primeira fase.
10b		Arco aberto Base Articular	**Dois cortes**  Remova um pedaço do concreto do tabuleiro maior que o espaçamento requerido (V_R).	A destruição em uma etapa pode ser eficiente.

ANEXO O (Continuação)

Nr Ordem	Subcategoria	Tipo	Método de abordagem	Observações
11b	Concreto	Arco Fechado Base fixa Método I	**Carga de pressão**  Remova um pedaço do concreto do tabuleiro maior que o espaçamento requerido (V_R).	A destruição em uma etapa pode ser eficiente.
12b		Arco aberto Base fixa Método II	**Carga de pressão**  1.Remova um pedaço do concreto do tabuleiro maior que o espaçamento requerido (VR). 2. Destrua ambos os lados do arco com cargas de pressão. a. Em contato com a parte inferior do arco. b. Ou em contato com a parte superior(tem que remover o enchimento abaixo do piso de rolamento.	1. Método aplicado para arcos maiores que 35 metros. 2. A destruição em uma etapa pode ser eficiente.
13b		Arco Fechado Base articular	**Carga de pressão**  Remova um pedaço do concreto do tabuleiro maior que o espaçamento requerido (V_R).	1. A destruição em uma etapa pode ser eficiente.
14b	Aço	Cantilever	**Dois cortes** 1. Corte o vão ancorado próximo do encontro. 2. Corte o ponto de junção.	-
15b		Cantilever com vão suspenso	**Um corte**  Corte o vão ancorado próximo do encontro.	Se a demolição do vão suspenso criar um obstáculo desejado, considere-o com uma ponte de lance simples e destrua com o método adequado.

ANEXO O (Continuação)

Nr Ordem	Subcategoria	Tipo	Método de abordagem	Observações
16b	Aço	Viga ou treliça com vão menor	**Um corte**  1. Corte o vão interior com a condição de y ser maior que 1,25 x. 2. Se for necessário cortar outros vãos siga o método do Nr O 17.	-
17b		Viga ou treliça sem vão menor	**Dois ou mais cortes**  Corte o vão interior com a condição de y ser maior que 1,25 x.	-
18b		Quadro rígido Base rígida	**Dois cortes**  Corte o vão em dois pontos próximos dos encontros.	-
19b		Quadro rígido Base articular	**Dois cortes**  Remova uma parte do vão maior que o espaçamento requerido (V_R).	-
20b		Arco aberto Base fixa	**Quatro cortes**  Remova um pedaço do concreto do tabuleiro maior que o espaçamento requerido (V_R).	O ângulo de corte deve ser de 70°.

ANEXO P

CARACTERÍSTICAS DO ESTOPIM E DO CORDEL DETONANTE

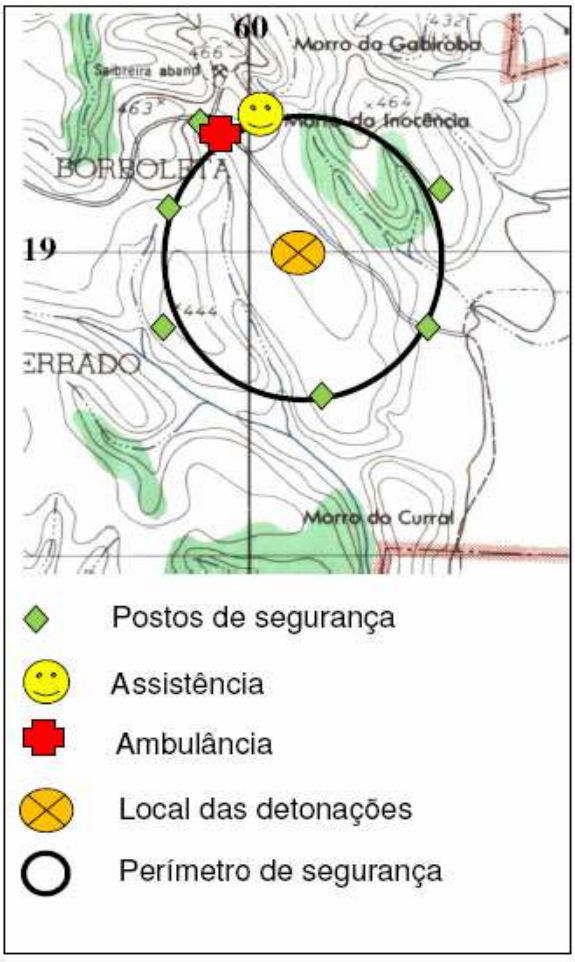
ESTOPIM		
CARACTERÍSTICAS \ TIPOS	COMUM	HIDRÁULICO
Diâmetro externo	5 mm	
Núcleo	Misto de pólvora negra (PN)	
Peso da pólvora	5,5 g/m	
Peso do estopim	21 g/m	
Tempo de queima	150 m/s ±10%	
Comprimento da chispa	3 a 5 cm	
Resistência à armazenagem	2 anos	
Resistência à água	7 (pouca)	1 (excelente)
Resitência à tração	24 kgf	28 kgf
Revestimento externo	Resina plastificada	Termoplástico

CORDEL DETONANTE		
CARACTERÍSTICAS \ TIPOS	NP-5	NP-10
Flexibilidade	Excelente	
Resistência à água	1 (Excelente)	
Resistência à armazenagem	5 anos	
Ponto de fusão	138°C	
Carga explosiva	Nitropenta (PETN)	
Velocidade de detonação	7.000 m/s	
Revestimento externo	Plástico (PVC)	
Diâmetro externo	4 mm	5 mm
Resistência à tração	50 kgf	80 kgf
Peso de Nitropenta (PETN)	5 g/m	10 g/m
Peso do cordel	17 g/m	23 g/m

ANEXO Q
EXEMPLO DE PLANO DE SEGURANÇA

	PLANO DE SEGURANÇA Nr _____	VISTO _____ Cmt C Eng

1. INSTRUÇÃO: Explosivos e Destruições.
2. INSTRUENDOS: Cad 3º Ano C Eng.
3. TIPO DE EXERCÍCIO: Acionamento de Cargas Explosivas.
4. DATAS E HORÁRIOS: 10 Jun08 (das 1400h às 1800h).
5. Ref: Carta RESENDE – Esc 1:25000.



1. Área a ser utilizada atende as condições do Apêndice 5 da NOSEG/AMAN? Sim.
2. Solicitado autorização ao CC em: 21 Mai08.
3. Equipe de Segurança:
   - Constituição: 1 Of, 1 Sgt, 1 Cb e 5 Sd.
   - Sinalização: Os Postos de Segurança estarão portando bandeirolas vermelhas e coletes sinalizadores.
   - Conduta: Interditar a Área de Segurança e liberar somente Mdt O da Coor Instr.
   - Locais dos Postos: Conforme o croqui ao lado.
4. Ligações a serem utilizadas entre os postos: Ligação visual (binóculo), ligação rádio e ligação por meio de apitos.
5. Medidas de Atendimento a feridos e sua evacuação para o HE: Haverá uma Equipe Médica com Ambulância no Local.
6. Publicação no "ALAMBARI" dias: 04 a 10 Jun 08.
7. Evacuação de moradores: Não é o caso.
8. Outras medidas de caráter particular, julgadas necessárias pelo Curso:

- Todas as Medidas de Segurança descritas no Plano de Prevenção de Acidentes de Instrução constante da Ordem de Instrução Nr 018/ 08 – S3 C Eng – Operação Quebra-Canela.
- O local de acionamento será um abrigo enterrado com o teto de pranchões, a uma distância de 190 m da carga mais próximas.

De acordo: _____
S3 CC

APROVO: _____
Cmt CC

Resende - RJ, 21 de Maio de 2008

_____
FRANCISCO HOSKEN DA CÁS - Cap
Oficial de Prevenção de Acidentes de Instrução

ANEXO R
EXEMPLO DE GERENCIAMENTO DE RISCO

MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
DEP - DFA - AMAN - CC

GERENCIAMENTO DE RISCO
Op Quebra-Canela 21 Maio08 - S3/ C Eng

a. FATOR OPERACIONAL	V	F	Desc	PESO
Houve manuseio anterior com simulacros ou cargas inertes.	X			3
O local do manuseio e acionamento dificulta a projeção de partículas.	X			2
As instalações existentes estão fora do afastamento mínimo permitido.	X			3
Será testada a velocidade de queima do estopim (se for o caso).	X			3
Os instrutores e monitores têm experiência no emprego dos explosivos.	X			2
Todos os executantes receberam instruções relativas ao emprego do explosivo.	X			1
Os procedimentos de segurança são do conhecimento de todos os envolvidos.	X			1
O emprego é realizado de acordo com as técnicas e normas em vigor.	X			3
Há distância de segurança entre o local de acionamento e os executantes.	X			1
A preparação e acionamento das cargas são feitos por um único executante.	X			2
Não há equipamentos de emissão eletromagnética ligado na área da instrução.	X			2
Há margens de segurança para erros e atrasos.	X			1
Não há ambiente hostil real ou simulado.	X			2
Ambiente não motiva o exibicionismo ou à competição.	X			2
Existe um controle rigoroso do efetivo participante da atividade.	X			2
Não há indícios de excesso de confiança por parte dos executantes	X			3
Mínimo (soma dos pesos dos F) = 0 Máximo (Mínimo + soma dos peso dos Desconhecidos) = 0				
b. FATOR MATERIAL	**V**	**F**	**Desc**	**PESO**
Os acionadores estão em perfeitas condições de uso.	X			3
As condições de temperatura e umidade estão de acordo com as normas.	X			2
Todo explosivo, espoletas e Eqp são inspecionados antes da instrução.	X			2
O lote dos explosivos estão conformes e dentro dos prazos de validade.	X			2
Os explosivos são manipulados e transportados de acordo com as normas.	X			1
As espoletas (se for o caso) estão em curto até sua utilização.	X			2
As ferramentas para manuseio são as previstas em manuais e normas.	X			2
O material não ficará exposto diretamente aos raios solares.	X			1
Os explosivos e espoletas são manuseadas em local aberto.	X			3
Mínimo (soma dos pesos dos F) = 0 Máximo (Mínimo + soma dos peso dos Desconhecidos) = 0				
c. FATOR INFRAESTRUTURA	**V**	**F**	**Desc**	**PESO**
Há equipamentos de proteção individual e de segurança para todos envolvidos.	X			3
Existe uma equipe de saúde compatível com a emergência esperada.	X			3
Os meios da equipe de saúde são suficientes para os 1º socorros e evacuação.	X			2
Há um plano de segurança para a atividade com supervisão do mesmo.	X			1
Existe uma equipe de segurança para delimitação e interdição da área.	X			1
Existe uma equipe de combate a incêndio.	X			1
Os meios para interdição da área e para debelar incêndio são adequados.	X			1
Existe comunicação entre o controle da execução e as equipes de segurança.	X			2
Existe uma equipe para localização e destruição de engenhos falhados.	X			2
Os meios para destruição de engenhos falhados são adequados.	X			3
A população da área foi informada das medidas de segurança existentes.		X		2
Mínimo (soma dos pesos dos F) = 2 Máximo (Mínimo + soma dos peso dos Desconhecidos) = 2				

ANEXO R (Continuação)

2. CÁLCULO DA GRAVIDADE		
Iniciar com o valor básico (1) e, conforme o caso, adicionar os demais valores.		
Gravidade	**Marcar X**	**Valor**
Valor Básico Inicial.	X	1
Condições meteorológicas adversas.		1
Executante inexperiente.	X	2
Executante com estresse físico.		2
Execução noturna.		1
TOTAL		3

3. CÁLCULO DO RISCO					
RISCO MÁXIMO = Multiplicar o somatório das probabilidades máximas pela gravidade.					
RISCO MÍNIMO = Multiplicar o somatório das probabilidades mínimas pela gravidade.					
PROBABILIDADE		Vezes	GRAVIDADE	RISCO	
MÁXIMA	2	X	3	MÁX	6
MÍNIMA	2			MÍN	6

RISCO MÁXIMO BAIXO

RISCO MÍNIMO BAIXO

4. APLICAÇÃO DE AÇÕES DE CONTROLE DO RISCO		
Observar a faixa na qual se encontram os valores de risco máximo e mínimo obtidos, optando pela linha de ação recomendada. Lembrar de dois fundamentos básicos: não se deve correr riscos desnecessários e o risco deve ser aceito quando a relação custo-benefício é vantajosa para a organização.		
FAIXA DE RISCO	GRAU DE RISCO	LINHA DE AÇÃO RECOMENDADA
0 - 22	Baixo	Acompanhar os fatores de risco identificados.
23 - 90	Médio	Sanar os fatores de risco identificados antes da missão.
91 - 120	Alto	Cancelar (*).
121 - 180	Muito Alto	Cancelar (*).
acima de 180	Inaceitável	Cancelar (*).
(*) Caso o grau de risco não possa ser reajustado para grau de risco "Baixo", a decisão do prosseguimento da missão é exclusiva do Cmt OM.		

5. AÇÕES ADOTADAS
OS POSTOS DE SEGURANÇA ESTARÃO PORTANDO BANDEIROLAS VERMELHAS E COLETES LARANJA
A ÁREA SERÁ INTERDITADA E SÓ SERÁ LIBERADA Mdt O DO OFICIAL CHEFE DA INSTRUÇÃO
A LIGAÇÃO SERÁ ATRAVÉS RÁDIO E POR MEIO DE APITOS
OS APITOS SERÃO SOADOS CASO HAJA PERIGO IMINENTE DA SEGURANÇA
A EQUIPE DE COMBATE À INCÊNDIO ESTARÁ NO LOCAL DA DETONAÇÃO

ATIVIDADE:	Op Quebra-Canela
LOCAL:	BORBOLETA
DATA:	101400Jun08
PREENCHIDO POR:	Cap DA CÁS
FUNÇÃO	Adj S4 C Eng

_____

FRANCISCO HOSKEN DA CÁS – Cap

Oficial de Prevenção de Acidentes na Instrução

Visto:

_____

CÉSAR ALEXANDRE CARLI- Maj

Cmt C Eng

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Estado-Maior do Exército. C 5-25: Explosivos e destruições. 2ª Ed. Brasília: EGGCF, 1991.

- BRASIL. Estado-Maior do Exército. C 5-34: Vade-Mécum de Engenharia. 3ª Ed. Brasília: EGGCF, 1996.

- BRASIL. Departamento Logístico. R 105: Regulamento para a Fiscalização de Produtos Controlados. 1ª ed. Brasília: EGGCF, 2001.

- BRASIL. Estado-Maior do Exército. T 9-1903: Armazenamento, conservação, transporte e destruição de munições, explosivos e artifícios. 1ª Ed. Brasília: EGGCF, 1970.

- BRASIL. Estado-Maior do Exército. T 5-277: Ponte de Painéis Tipo Bailey-M2- Parte 1. 1ª Ed. Brasília: EGGCF, 1979.

- BRASIL. Diretoria de Material de Engenharia. Boletim Técnico Especial Nr 4: Normas de emprego e manuseio de cargas explosivas e dispositivos acionadores. Brasília, 1983.

- BRASIL. Academia Militar das Agulhas Negras. Apostila de explosivos e destruições do Curso Avançado. Editora acadêmica.

- BRASIL. Academia Militar das Agulhas Negras. Vade-Mécum de OT do Curso de Engenharia. Editora Acadêmica.

- BRASIL. Academia Militar das Agulhas Negras. Apostila de Explosivos e destruições do Curso de Engenharia. Editora acadêmica.

- ATHAYDE, ALCIO AUGUSTO CARPES. Instruções sobre desmonte de rocha no Instituto Militar de Engenharia. Instituto Militar de Engenharia, 2008.

- BRASIL. Centro de Instrução de Guerra na Selva. Caderneta Operacional. Manaus: CIGS, 2006.